

GUÍAS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE CAMPO: UNA RUTA DE APRENDIZAJE AL TRABAJO EXPERIMENTAL EN LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA

**Andrés Medina Guzmán
Margarita Guerrero Peña
Adriana Herazo Pérez
Eliceo Cortes Gómez
Cristian Solano Mazo**

Libro digital



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Guías de Laboratorio
de Física de Campo:
Una ruta de Aprendizaje al
Trabajo Experimental en la
Universidad de la Costa

Medina Guzmán, Andrés

Guías de laboratorio de física de campo: Una Ruta de Aprendizaje al Trabajo Experimental en la Universidad de la Costa/Margarita Guerrero Peña, Adriana Herazo Perez, Eliceo Cortes Gómez, Cristian Adolfo Solano Mazo. – Barranquilla: Editorial Universitaria de la Costa SAS, 2021.

ISBN: 978-958-56772-4-1 (digital)

100 páginas, ilustraciones

Física campo

Física – Manual de laboratorio

Electroestática

Campos magnéticos

530.8 G943

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos al editor. Queda prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del Copyright®.

Guías de Laboratorio de Física de Campo: Una ruta de Aprendizaje al Trabajo Experimental en la Universidad de la Costa

Andrés Medina / Margarita Guerrero
/ Adriana Herazo / Eliceo Cortes /
Cristian Solano



2021



**Guías de Laboratorio
de Física de Campos:**
Una ruta de aprendizaje al
Trabajo Experimental en la
Universidad de la Costa

Andrés Medina Guzmán
Margarita Guerrero Peña
Adriana Herazo Pérez
Eliceo Cortes Gómez
Cristian Adolfo Solano Mazo

ISBN: 978-958-56772-4-1 (digital)

Corporación Universidad de la Costa,
CUC

Diseño, diagramación y
corrección de estilo
Editorial Universitaria
de la Costa S.A.S.
Teléfono: (575) 336 2222
educosta@cuc.edu.co

Lauren Julieth Castro Bolaño
Directora.

Hecho bajo el depósito que exige la ley.

Dedicatoria

Primero que todo este libro está dedicado a nuestros estudiantes, que nos motivan todo el tiempo a darles lo mejor, para ellos realizamos estos textos, para complementar sus conocimientos en el mundo de las físicas.

A la Universidad de la Costa, por darnos la oportunidad de desempeñar esta hermosa profesión de ser docentes.

A todo el departamento de ciencias naturales y exactas, amigos y familiares por brindarnos su apoyo y a todos aquellos que desean que triunfemos en la vida.

A todos ellos se les dedica este éxito, muchas gracias.

Agradecimientos

Principalmente a Dios por ser nuestra fuente de inspiración, sabiduría y fortaleza. A cada una de nuestras familias, su apoyo y su amor son los motores para cumplir nuestras metas.

A nuestros compañeros y colegas de la Universidad de la Costa por el buen trabajo en equipo y su confianza depositada para el desarrollo de las guías de este libro.

Nuestro director del departamento de Ciencias Naturales y Exactas, el Dr Carlos Eduardo Schnorr, y al rector de la Universidad de la Costa el Dr Tito José Crissien Borrero, por su acompañamiento constante en cada uno de los proyectos que emprendemos.

Prólogo

Aprovechando la flexibilidad proporcionada por el carácter experimental de la Universidad de la Costa, los docentes del laboratorio de física de campos iniciaron la construcción de un libro experimental para el laboratorio de física de campos. Con el fin de estimular a los estudiantes en la investigación e innovación, a través de la manipulación de los instrumentos del laboratorio usando las nuevas tecnologías proporcionadas por los equipos del laboratorio de física de campos, con la ayuda del software Capstone, y los actuales equipos del laboratorio de la compañía PASCO. Felizmente, luego de un gran esfuerzo, dedicación y experiencias adquiridas en el aula del laboratorio de física de campo, se concluye con este libro experimental. Una de las principales ventajas de usar nuestra experiencia de docencia en la redacción de este texto de laboratorio de física de campo fue la selección adecuada de las experiencias, ya que en los experimentos y conceptos discutidos en este material están las bases de los conocimientos en física de campo que los estudiantes de pregrado en ingeniería deben adquirir para capacitarse adecuadamente para actuar tanto en el área científica como tecnológica. Por tanto, el texto está adaptado para guiar al estudiante en la obtención de datos a través de las mediciones y análisis de gráficos con el propósito de demostrar y comprender los principios básicos relacionados con la asignatura de física de campos. Así, el estudiante por medio de la experimentación pueda desarrollar y aplicar técnicas que le sean de utilidad en sus proyectos y labores futuras.

El libro está dividido en 8 Experiencias: (1) Electrostática, (2) Líneas equipotenciales, (3) Capacitores variables de placas paralela, (4) Combinación de capacitores en serie y paralelo, (5) Resistividad, (6) Ley de Ohm, (7) Carga y descarga de un condensador, (8) Campos magnéticos de bobinas. Comenzamos por la electrostática con el fin de establecer los conceptos fundamentales para comprobar fenómenos electrostáticos a través de las propiedades de las cargas. Luego, como los fenómenos de la naturaleza son el resultado de interacciones y estas interacciones se representan por medio de campos, en la experiencia (2) el objetivo es mapear a través de las líneas equipotenciales los campos eléctricos. En la experiencia (3) se analiza la correlación entre la carga eléctrica, diferencia de potencial y capacitancia, para un capacitor de placas paralelas.

En la experiencia (4) se estudia como los condensadores se pueden conectar de diferentes formas en un circuito eléctrico, ya sea en serie o en paralelo y se determina la capacitancia equivalente para combinaciones en serie y en paralelo. En la experiencia (5) analizamos el concepto de resistividad eléctrica que es un parámetro característico de cada material que mide la disposición de éste para resistirse al movimiento de una corriente eléctrica. Seguidamente, en la experiencia (6) se demuestra la proporcionalidad entre la diferencia de potencial y la corriente observada en algunos tipos materiales llamados óhmicos. Posteriormente, en la experiencia (7) se estudia el comportamiento de un circuito compuesto por una resistencia y un capacitor a través de la variación temporal del voltaje. Finalmente, en la experiencia (8) se analizan los campos magnéticos para una bobina y un solenoide, en función de la posición y la corriente eléctrica. Esperamos que este texto sea una herramienta en el proceso de enseñanza a los docentes del departamento de Ciencias Naturales y Exactas y como guía para los estudiantes en su proceso del aprendizaje. Finalmente, queremos expresar nuestra gratitud a todos aquellos que con su apoyo hicieron posible la culminación de este libro. Nuestro reconocimiento al equipo editorial por sus contribuciones y apoyo.

Los Autores

Tabla de Contenido

Introducción		14
Presentación		15
Cap. 1	Electroestática	16
I.	Introducción	16
II.	Electrización	17
III.	Ejercicio Propuesto	19
	Experiencia 1: Electroestática	19
Cap. 2	Líneas equipotenciales	28
I.	Introducción	28
II.	Líneas equipotenciales	30
III.	Ejercicios prácticos	32
	Experiencia 2: Lineas equipotenciales	34
Cap. 3	Capacitor variable de placas paralelas	38
I.	Introducción	38
II.	Capacitancia	39
III.	Ejercicios prácticos	42
	Experiencia 3: Capacitor variable de placas paralelas	43
Cap. 4	Combinación de capacitores en serie y en paralelo	50
I.	Introducción	50
II.	Capacitancia y asociación de capacitores	51
III.	Ejercicio propuesto	55
	Experiencia 4: Combinación de capacitores	56

Cap. 5	Resistividad	62
I.	Introducción	62
II.	Resistencia	62
III.	Ejercicio Propuesto	65
	Experiencia 5: Resistividad	66
Cap. 6	Ley de Ohm	70
I.	Introducción	70
II.	Ley de Ohm	70
III.	Ejercicios propuestos	73
	Experiencia 6: Ley de Ohm	74
Cap. 7	Carga y descarga de un capacitor	76
I.	Introducción	76
II.	Carga y descarga de un capacitor	76
III.	Ejercicio Propuesto	81
	Experiencia 7: Carga y descarga de un capacitor	82
Cap. 8	Campo magnética de bobinas	86
I.	Introducción	86
II.	Campo magnético de bobinas	86
III.	Ejercicio propuesto	92
	Experiencia 8: Campos magnéticos	93
	Referencias	97
	Conclusiones	98
	Recomendaciones	99

Tabla de ilustraciones

Fig. 1.	Constitución del equipo	18
Fig. 2.	Montaje del equipo	19
Fig. 3.	Transferencia de carga por inducción	20
Fig. 4.	Configuración para carga por contacto	22
Fig. 5.	Configuración para distribución de carga	23
Fig. 6.	Medición de la carga dentro de la esfera	25
Fig. 7.	Carga puntual que se mueve en un campo eléctrico uniforme	29
Fig. 8.	Patrones de campo eléctrico y líneas equipotenciales generados por dos cargas de igual magnitud de carga. Las líneas continuas representan el campo eléctrico y las líneas discontinuas mapean las líneas equipotenciales	
Fig. 9.	Ejemplo de líneas equipotenciales en configuración Barra-Barra	32
Fig. 10.	Ejercicio Practico- Líneas equipotenciales configuración Anillo-Anillo	33
Fig. 11.	Montaje Experimental	34
Fig. 12.	Montaje experimental de las configuraciones de cargas dibujadas sobre papel	35
Fig. 13.	Botella de Leyden	38
Fig. 14.	Esquema de capacitor de placas paralelas	39
Fig. 15.	Valor de voltaje registrado con ayuda del portador de carga y la jaula de Faraday	40
Fig. 16.	Diagrama del circuito del electrómetro	44
Fig. 17.	Configuración de la experiencia	45
Fig. 18.	Medida de la capacitancia en la experiencia	45
Fig. 19.	Representación de un capacitor en un símbolo eléctrico	51

Fig. 20.	Combinación de capacitores en serie	52
Fig. 21.	Combinación de capacitores en paralelo	52
Fig. 22.	Montaje de capacitores conectados a una fuente de voltaje	53
Fig. 23.	Asociación de capacitores en serie y paralelo	54
Fig. 24.	Montaje de capacitores conectados a una fuente de voltaje de 20V	55
Fig. 25.	Montaje 1 (capacitores en paralelo)	57
Fig. 26.	Montaje 2 (capacitores en serie)	57
Fig. 27.	Montaje experimental experiencia de resistividad	63
Fig. 28.	Relación entre resistencia y longitud	64
Fig. 29.	Gráficos de I vs V para: a) materiales óhmicos b) materiales no óhmicos	71
Fig. 30.	Montaje experimental experiencia de Ley de Ohm	72
Fig. 31.	Relación entre Voltaje y Corriente	73
Fig. 32.	Diagrama esquemático de un circuito RC	77
Fig. 33.	Grafica de $\ln V$ vs V	80
Fig. 34.	Montaje para carga y descarga de un capacitor	82
Fig. 35.	Representación de las líneas de campo magnético en un imán de barra	87
Fig. 36.	Representación del campo magnético alrededor de una corriente eléctrica	88
Fig. 37.	Bobina Helmholtz típica utilizada en los laboratorios de física para generar un campo magnético casi constante en el interior	89
Fig. 38.	Campo magnético para una bobina de Helmholtz	89
Fig. 39.	Campo magnético al interior de la bobina en función de la corriente	91
Fig. 40.	Montaje para campo magnético de una bobina	93
Fig. 41.	Montaje del campo magnético de un solenoide	94

Introducción

La electricidad es aquella parte de la física que nos ayuda a comprender todos los fenómenos eléctricos que nos rodean, uno de los principales autores de su estudio fue Benjamin Franklin cerca de los años 1752, quien pudo demostrar que los rayos representaban una forma de electricidad. Posterior a este experimento se encontró que existían cargas negativas y positivas donde las propiedades eléctricas estaban en torno a estas cargas.

Desde ese descubrimiento hasta la actualidad la electricidad ha avanzado a gran escala, gracias a ellos hoy en día gozamos de grandes beneficios como sistemas de ventilación, equipos de refrigeración, equipos tecnológicos, es decir, que la electricidad ha llevado a la humanidad a crear dispositivos electrónicos basados en principios de la electricidad.

Es por ello, la importancia de comprender desde un criterio teórico-práctico los fenómenos eléctricos que nos rodean y saber desde la experiencia cómo funcionan los diferentes dispositivos.

En este libro encontraremos precisamente esto último, una oportunidad de realizar experiencias para comprobar las teorías que ya conocemos y comprender de una manera más sencilla las propiedades eléctricas de los cuerpos.

En estas experiencias aprenderemos sobre los fenómenos electrostáticos, tales como interacción entre cargas eléctricas, fuerzas y campos eléctricos, luego analizaremos las propiedades de las corrientes eléctricas a través de un conductor y dispositivos electrónicos, así como también analizaremos el estudio de fenómenos magnéticos y la influencia que tiene la corriente en estas propiedades.

Este libro presenta un enfoque teórico-práctico relacionando los conceptos básicos con ejemplos y ejercicios propuestos de acuerdo a cada experiencia de laboratorio.

Presentación

Este libro está diseñado para fortalecer y facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de física de campo a través de contenidos teórico-práctico que contribuyen al aprendizaje de cada una de las temáticas desarrollada en la asignatura.

La intención de este libro es contar en la universidad con una guía práctica que los estudiantes puedan utilizar en el laboratorio como herramienta fundamental para el aprendizaje de los conceptos vistos en clase con ayuda de equipos tecnológicos para el análisis de datos adquiridos en la experiencia realizada.

Se puede afirmar que la mayor contribución de esta obra radica en el aprendizaje autónomo que puede adquirir el estudiante al analizar datos experimentales y confrontarlos con los conceptos referente a la experiencia en grupos de trabajos, por lo que una interacción entre la experimentación y socialización de ideas grupales fortalece el conocimiento de lo estudiantes en Física de Campos.

1. Introducción

El estudio de la naturaleza de las cargas eléctricas en reposo y sus características de electrización, con respecto a diversos materiales se llama electrostática.

La primera vez que se probaron las propiedades atractivas de un material fue hace 600 años antes de cristo, cuando el filósofo griego Tales de Mileto, evidencio que al frotar ámbar (resina denominada electrón en griego) con un pañuelo de lana, ganaba el poder de atraer cuerpos diminutos como cabellos o pedazos de papel. Incluso si los frotaba durante un tiempo prolongado podía originar la aparición chispa eléctrica.

Sir William Gilbert, filósofo y físico experimental inglés, a principios del siglo XVII notó que algunos materiales tenían un comportamiento similar al ámbar al friccionarlos y sin importar que el cuerpo no sea liviano, esta fuerza de atracción seguía manifestándose. Gilbert empezó a utilizar la palabra "eléctrico" para mencionar a todo material u objeto que actuara como el ámbar, lo que conllevó en los términos carga eléctrica y electricidad.

Es probable visualizar el fenómeno descrito al frotar dos objetos eléctricamente neutros, los dos quedan cargados, uno positivamente (pierde electrones) y el otro negativamente (gana electrones), claramente esto va a depender de los materiales que hacen parte del proceso de frotación. Por ejemplo, si se friccionar un trozo de cristal con un pañuelo de seda, se produce un intercambio de cargas negativas del cristal al pañuelo de seda. Y al friccionar una barra de plástico con un trozo de cabello, se produce un intercambio de cargas negativas del cabello a la barra.

Todas estas observaciones fueron planteadas formalmente a mediados del siglo XIX, gracias a la experimentación relacionada con la electrólisis que realizó Michael Faraday, los cuales posibilitaron revelar la relación entre la materia y la electricidad.

II. Electrización

En la naturaleza existen dos tipos de carga eléctrica las positivas y las negativas. Se entiende que un cuerpo está cargado neutro, cuando tiene la misma cantidad de ambas cargas. Siendo la carga eléctrica una cualidad característica de ciertas partículas subatómicas que se revelan a través de fuerzas de atracción o de rechazo [1, p. 514].

Conforme al sistema internacional de unidades de medida, la carga se mide en Coulomb (C). 1C equivale a 6.242×10^{18} electrones libres.

Ahora, la condición por el cual los objetos ganan carga eléctrica es la electrización. En este proceso los electrones que gana un cuerpo los pierde otro, es decir, hay una transferencia de electrones de un material a otro, pero no se crean electrones nuevos ni se destruyen, por lo que la carga eléctrica total es constante, en otras palabras, la carga eléctrica se conserva. Hay tres maneras de cargar eléctricamente a un cuerpo, las cuales son:

1. *Electrización por fricción o frotación:* Ocurre cuando dos cuerpos de distinto material se frotan. El cuerpo con mayor resistencia queda cargado negativamente, debido a que gana electrones de los niveles más exteriores de los átomos del otro cuerpo, y el que cede electrones queda con carga positiva [1, p. 514].
2. *Electrización por contacto:* Ocurre cuando colocamos en contacto un cuerpo con otro cargado eléctricamente. En esta situación, los dos cuerpos quedan cargados con el mismo tipo de carga. Desde el cuerpo que posee mayor cantidad de electrones, se produce un traspaso de cargas hacia el cuerpo que contenga menor cantidad de electrones; este movimiento de electrones continuara hasta que ambos cuerpos queden la misma cantidad de cargas [1, p. 514].
3. *Electrización por inducción:* Si tenemos un cuerpo conductor neutro y le acercamos un cuerpo cargado eléctricamente, se produce una redistribución de cargas en el material conductor, es decir, en un extremo quedan cargas positivas y en el otro, cargas negativas (polarización). Si uno de los extremos polarizados hace contacto con tierra, el cuerpo ganará cargas, y una vez quitada la conexión a tierra, el material conductor quedará cargado de manera contraria a la del cuerpo inductor [1, p. 515].

Esta experiencia es llevada a cabo por una ingeniosa combinación de varios elementos: una jaula de Faraday doble, un electrómetro, una fuente de alta tensión (y extremadamente baja corriente), esferas metálicas de distintas formas con pie aislante y tres portadores de cargas (el productor azul de PVC, productor blanco de cuero, y un productor plateado de aluminio).

Todos estos elementos nos permiten observar fenómenos electrostáticos, para una mejor comprensión de los conceptos de cargas eléctricas, las interacciones que se producen entre ellas y su actuación en los materiales.



Fig. 1. *Constitución del equipo.*

Fuente: Elaboración propia.

Si sostenemos los productores de carga blanco y azul desde los extremos de sus varillas y los frotamos entre sí cuidadosamente varias veces, y luego introducimos los productores en la celda interior de Faraday, uno a la vez y luego los dos juntos (**Fig. 2**), podemos anotar las siguientes observaciones:

1. El productor azul gana electrones (carga negativa) y el productor blanco perdió electrones (carga positiva). Lo que indica que hay una transferencia de electrones del productor blanco al productor azul. Por otro lado, la parte externa de la jaula interna queda cargada negativamente y la parte interna de la jaula externa positivamente, lo cual se debe al signo del productor.
2. El productor blanco ha perdido electrones, por lo cual queda con carga positiva. Esto genera que la parte externa de la jaula interna quede con carga positiva y la parte interna de la jaula externa con carga negativa.

3. Al colocar los dos productores juntos dentro de la jaula la jaula interna no se carga, debido a que estos portadores tienen cargas opuestas, podemos decir entonces que la jaula está polarizada. Esto genera que entre la parte externa de la jaula interna y la jaula externa no exista carga.



Fig. 2. *Montaje del Equipo.*

Fuente: Elaboración propia.

Es importante que antes de iniciar una medida verificar que el electrómetro marque cero, si esto no se cumple presionar el botón ZERO. Para descargar los productores de carga se tocan en la parte posterior. Tenga cuidado de no variar el orden de las conexiones mostrada, esto le permitirá relacionar mejor la lectura del electrómetro con los datos pedidos.

III. Ejercicio propuesto

Un estudiante de ingeniería conecta una esfera conductora de aluminio al positivo de la fuente (+2000V) la cual será utilizada como el cuerpo cargado y momentáneamente conecta a tierra otra esfera para remover cualquier carga residual de ella. Si posteriormente acerca la esfera conductora neutra a la esfera cargada a una distancia de 8 cm.



Fig. 3. *Transferencia de carga por inducción.*

Fuente: Elaboración propia.

Realiza las siguientes observaciones

1. Si tocamos con el colector de carga la esfera neutra en la parte cercana a la esfera cargada y la llevo a la jaula de Faraday ¿Qué marcará el electrómetro?
2. ¿Cuál es la relación entre las magnitudes de la carga?
3. Si las dos esferas una de carga inicial $+Q$ y otra inicialmente descargada, se ponen en contacto y luego se separan. ¿Qué sucede al poner las esferas en contacto? ¿Cuál es la nueva carga de cada esfera? ¿Se conserva la carga en la demostración?

<p>Universidad de la Costa</p> <p>Departamento de Ciencias Naturales y Exactas</p> <p>Experiencia No. 1</p> <p>Electrostática</p> <p>Laboratorio de Física de Campos</p>	<table> <tr> <th colspan="3">Fecha</th> </tr> <tr> <td>DÍA</td> <td>MES</td> <td>AÑO</td> </tr> </table> <table> <tr> <th>Grupo</th> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table>	Fecha			DÍA	MES	AÑO	Grupo	
Fecha									
DÍA	MES	AÑO							
Grupo									
<p>Nombres</p> <hr/> <hr/>									

Experiencia 1:
Electrostática

A. Objetivos

Comprobar fenómenos electrostáticos a través de carga por fricción, por contacto y por inducción. Verificar el principio de conservación de la carga eléctrica y la distribución de está en una superficie.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Electrómetro (1), productores de carga (2), portador de carga (1), fuente de voltaje electrostática (1), jaula de Faraday (1), cable de entrada de señal (1), sonda de prueba (1), esferas conductoras (4).

C. Actividades de la experiencia

Esta práctica se realizará en tres partes. En la primera se comprobará la transferencia de carga por diferentes métodos de electrización, en la segunda se verificará el principio de conservación de la carga eléctrica y en la tercera parte analizará cómo se distribuye la carga eléctrica en un cuerpo.

1. Transferencia de carga:
Carga por fricción, contacto e inducción

1. Conecte el electrómetro a la Jaula de Faraday, como se muestra en la Fig. 4. Asegúrese que el electrómetro y la jaula estén a tierra. El electrómetro debe leer cero cuando esté conectado a tierra, lo que indica que no hay carga en la jaula. Presione ZERO para eliminar completamente todas las cargas del electrómetro y la jaula.



Fig. 4. *Configuración para carga por contacto.*
Fuente: Elaboración propia.

2. Comience con el rango de voltaje más alto que corresponde a 100V y ajústelo si es necesario. Si realiza el ajuste se recomienda utilizar en 30V para una medida más precisa.
3. Se cargarán los productores de carga frotándolos al mismo tiempo para separar las cargas. Tenga en cuenta que antes de cargarlos debe eliminar cualquier exceso de carga en la superficie conductora, respirando en el cuello del productor de carga, para que la humedad de la respiración elimine cualquier carga residual.
4. Mantenga en su mano solo el productor de carga que va a usar. Aleje el otro productor de la superficie de la jaula.
5. Inserte cuidadosamente uno de los productores de carga en la jaula de Faraday, hasta llegar a la mitad de esta, pero sin dejar que la toque. Tenga en cuenta que la lectura del electrómetro será en voltios, no en Coloumb. (anote el dato suministrado). Antes de insertar la superficie cargada en la Jaula, asegúrese de tocar la parte exterior de ésta conectada a tierra.
6. Presione el botón “ZERO” para eliminar cualquier carga residual y luego inserte la varita cargada nuevamente, permita que toque la jaula y luego quítelo. Anote la lectura del electrómetro.
7. Ponga a tierra momentáneamente la jaula, para eliminar toda carga en ella.

8. Presione el botón “ZERO” para eliminar las cargas residuales del electrómetro y luego inserte el productor de carga nuevamente en la jaula y luego quítelo. Anote la lectura del electrómetro.

2 *Conservación de la carga*

1. Descargue totalmente los productores de la carga.
2. Descargue por completo los portadores de carga poniéndolos a tierra, teniendo en cuenta eliminar el exceso de carga en el cuello y mango.
3. Frote los portadores de carga. Utilizando la Jaula de Faraday, mide la magnitud y polaridades de sus cargas insertando cada uno en Jaula. Tenga en cuenta que debe evitar que ambos productores toquen cualquier cosa después de ser cargados (Anote la lectura del electrómetro).
4. Retire los portadores de carga y observe la lectura del electrómetro.
5. Frote el portador de carga de superficie azul con el portador de superficie de aluminio, insertarlos en la jaula de Faraday y registre sus medidas.



Fig. 5. *Configuración para distribución de carga.*

Fuente: Elaboración propia.

3 *Distribución de la carga*

1. Conecte la Jaula de Faraday, el electrómetro y las esferas conductoras como se muestra en la **Fig. 5**. Asegúrese de tener a tierra el electrómetro y la jaula.
2. Coloque dos esferas conductoras separadas al menos 50 cm. Conecte una de las esferas a el puerto de +2000 VDC de la fuente electrostática de voltaje (ES-9077) [3]. La f.e.m debe estar conectada a tierra a la misma que el electrómetro. La esfera conectada se usará como un cuerpo cargado.
3. Coloque a tierra momentáneamente la otra esfera para eliminar cualquier exceso de carga de esta.
4. Toque con el portador de carga varios puntos diferentes de la esfera que se encuentra conectada a la fuente de voltaje, registre sus datos tomados por el electrómetro.
5. Acerque la esfera cargada de +2000 VCC a la esfera conectada a tierra, hasta que estén separadas aproximadamente 1 cm. Encienda la fuente de voltaje, luego mida, en la esfera conectada a tierra, con el portador de carga en los mismos puntos muestreados anteriormente.
6. Conecte a tierra momentáneamente la esfera conductora, tocando con una mano la jaula de Faraday y con la otra mano a la esfera. (Asegúrese de que la jaula esté conectada a tierra). Nuevamente, mida la carga de la esfera con el portador de carga en los mismos puntos muestreados anteriormente.
7. Retire la esfera cargada de +2000 VCC hasta que esté al menos a 50 cm de esfera conectada a tierra. Nuevamente, toma los valores de carga en los mismos puntos muestreados anteriormente.
8. Retire las dos esferas conductoras. Conecte la esfera con forma cónica al puerto de +2000 VDC de la fuente de voltaje.
9. Use el portador de carga en el extremo redondeado más grande y luego en el extremo estrecho.
10. Retire la esfera de forma cónica. Conecte la esfera hueca al puerto de +2000 VDC en la fuente de voltaje.
11. Mida la carga en la esfera colocando el portador de carga de aluminio en la superficie externa. A continuación, utilice el extremo conductor del portador para medir la carga dentro de la esfera. Como se muestra en la **Fig. 6**.



Fig. 6. *Medición de la carga dentro de la esfera.*
Fuente: Elaboración propia.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. ¿A qué se debe la diferencia de potencial cuando el portador de carga estaba dentro de la jaula de Faraday?

2. Cuando se toca la Jaula con el portador de carga existe una diferencia de potencial permanente en la jaula. ¿Por qué ocurre esto?

3. En la electrización por fricción ¿existe alguna relación entre el tipo de material y la polaridad de la carga? ¿Se conserva la carga eléctrica?

4. ¿Cómo se distribuye la carga eléctrica en un cuerpo? ¿Depende de la geometría de éste?

5. ¿Por qué permaneció alguna carga en la segunda esfera incluso después de que estaba conectada a tierra?

6. ¿Qué extremo de la esfera cónica tiene la mayor densidad de carga? ¿Por qué?

7. ¿Cómo se comportan las cargas entre el exterior y el interior de la esfera hueca?

E. Conclusiones de la experiencia

I. Introducción

Una carga al situada al interior de un campo eléctrico percibe una fuerza electrostática. La relación entre estas magnitudes está dada por la siguiente ecuación (2.1):

$$\vec{F} = q_o \vec{E} \quad (2.1)$$

Tal que, q_o es la carga de prueba siempre positiva en Coulomb (C), \vec{F} es la fuerza electrostática expresada en Newton (N) y \vec{E} es el campo eléctrico en unidades de Newton por Coulomb (N/C).

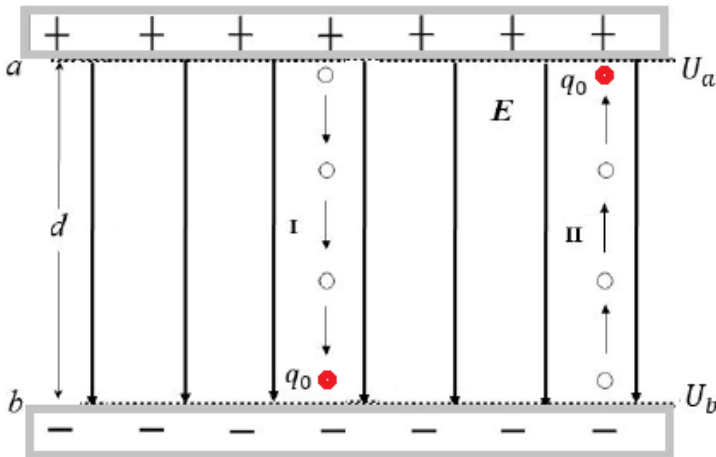


Fig. 7. Carga puntual que se mueve en un campo eléctrico uniforme.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Fig. 7** se muestra un sistema en el cual una carga igual a q_0 , percibe una fuerza \vec{F} que la obliga a desplazarse desde inicialmente desde un punto α hasta otro punto final b en un campo eléctrico uniforme de intensidad igual a E , que es causado por dos laminas conductoras paralelas con diferente polarización. El trabajo efectuado por el campo en la carga q_0 queda expresado por (2.2):

$$w_{\alpha \rightarrow b} = q_0 E d \quad (2.2)$$

Donde d es la distancia o el desplazamiento en metros de la carga de prueba. En otras palabras, d es la distancia entre las placas metálicas paralelas.

Los Joule o Julios (J) son unidades de medida para el trabajo según el SI. Recordemos que una de las cualidades del campo eléctrico es que es conservativo y por ende la fuerza eléctrica también lo es.

Se puede escribir el trabajo en términos de la energía potencial eléctrica (U), debido a que es causado por una fuerza conservativa. Para una carga que se desplaza entre dos puntos (α y b) la diferencia de energía potencial queda expresada como: $\Delta U = U_\alpha - U_b$ y el trabajo realizado es (2.3):

$$w_{\alpha \rightarrow b} = - \Delta U \quad (2.3)$$

Sustituyendo (3) en los resultados de (2) se tiene (2.4):

$$\Delta U = -q_0 E d \quad (2.4)$$

De esta ecuación notamos que la energía potencial eléctrica se relaciona de forma directamente proporcional con la carga, de la misma manera en que la fuerza eléctrica también lo es.

De la **Fig. 7** podemos analizar dos situaciones. La trayectoria I, la carga de prueba se mueve paralela y en el mismo sentido que el campo eléctrico, en este caso el trabajo realizado por el campo es de

signo + y la energía potencial eléctrica decrece. Para la trayectoria II ocurre lo contrario, ahora la carga de prueba se mueve en sentido opuesto al campo eléctrico, la energía potencial eléctrica aumenta a causa que el campo realiza un trabajo negativo [1, p. 558]. La energía potencial eléctrica en función del potencial eléctrico (V) se define como (2.5):

$$V_b - V_a = \frac{\Delta U}{q_0} = -Ed \quad (2.5)$$

Las unidades de V serían entonces, 1 joule/coulomb, el cual se denomina Volt (V) en honor al científico Alejandro Volta. La diferencia $V_b - V_a$ se conoce como diferencia potencial y se denota como V_{ba} .

A partir de la ecuación (2.5), si el potencial eléctrico es conocido se puede obtener de manera más sencilla el campo eléctrico.

II. Líneas equipotenciales

Las líneas equipotenciales son un conjunto de puntos que se encuentran a un mismo voltaje, es decir, a un potencial eléctrico constante. Por ejemplo, si trasladamos una carga de prueba horizontalmente sobre la línea a en la Fig. 7, la energía potencial permanece constante con valor U_a y por lo tanto no se realiza trabajo en la carga.

Analizando la ecuación (2.5) para una carga de prueba se obtiene que $V_b - V_a = 0$, entonces $V_b = V_a$, lo que indica que el potencial eléctrico permanece constante sobre la trayectoria a, por tanto la línea a, es una línea equipotencial.

Lo anterior implica de acuerdo con la ecuación (2.5) que el campo eléctrico E debe ser perpendicular en cada punto.

Experimentalmente se puede mapear estas superficies usando un papel conductor conectado a una fuente de voltaje a través de electrodos metálicos. La distribución de cargas en la superficie de los electrodos da origen a un campo electrostático en el papel conductor. De esta forma, el potencial eléctrico en los diferentes puntos del medio puede ser mapeado.

La Fig. 8 muestra sobre un papel conductor las líneas de campo y las superficies equipotenciales para dos electrodos esféricos simulando cargas estáticas, con signos opuestos y de igual magnitud de carga (dipolo eléctrico). La diferencia de potencial eléctrico sobre los electrodos es producida por una fuente de voltaje y hace que uno quede polarizado positivo y el otro negativo.

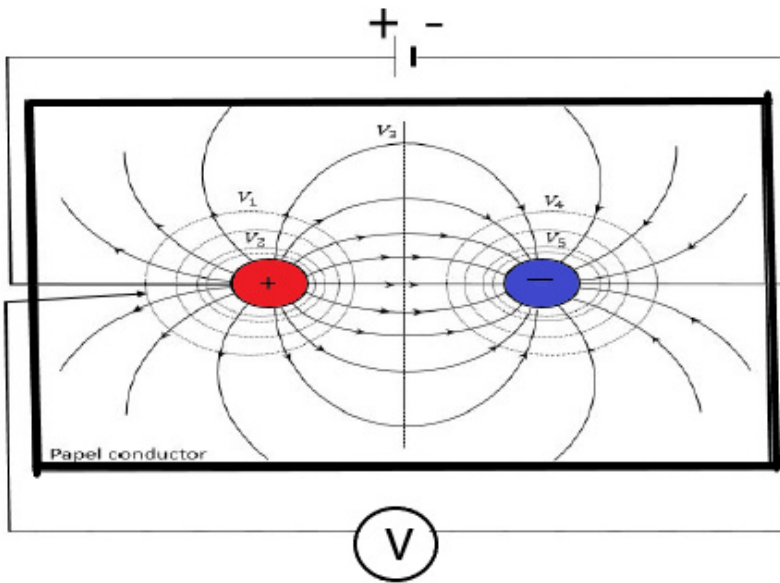


Fig. 8. *Patrones de campo eléctrico y líneas equipotenciales generados por dos cargas de igual magnitud de carga. Las líneas continuas representan el campo eléctrico y las líneas discontinuas mapean las líneas equipotenciales.*

Fuente: Elaboración propia.

Las líneas equipotenciales pueden ser trazadas uniendo un grupo de puntos que posee el mismo valor de potencial eléctrico, los cuales pueden ser determinados usando el voltímetro para los voltajes V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , y V_5 .

Una vez trazadas un conjunto de líneas equipotenciales, las líneas de campo pueden ser encontradas trazándose líneas perpendiculares a las líneas equipotenciales.

En el siguiente ejemplo (Fig. 9), podemos ver el trazado realizado para una configuración barra-barra, para el cual se toma el cable de medidor de voltaje y se comienza a encontrar 4 puntos de un mismo voltaje en la hoja conductiva y se trazan las líneas, notando que nos debe dar más o menos una línea recta.

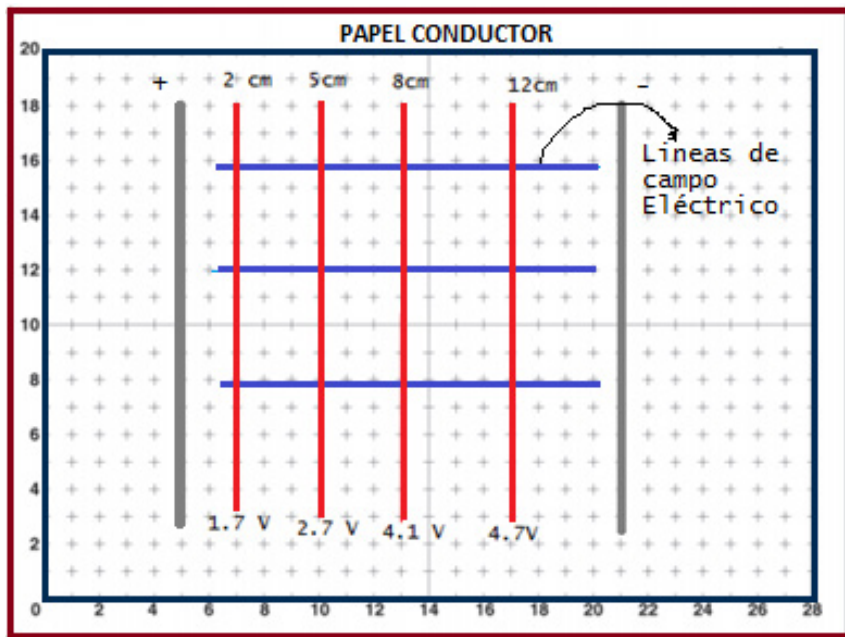


Fig. 9. Ejemplo de líneas equipotenciales en configuración Barra-Barra.

Fuente: Elaboración propia.

Para la primera línea equipotencial se encontraron puntos con voltaje de (1.7 V), la segunda línea con voltaje de (2.7 V), la tercera línea con voltaje de (4.1 V), la cuarta línea con voltaje de (4.7 V).

III. Ejercicios prácticos

Un estudiante de ingeniería desea dibujar las líneas equipotenciales para una configuración Anillo-Anillo. ¿Cómo quedaría dibujadas las líneas equipotenciales para esa configuración? ¿Cómo estarían distribuidas las líneas de campo eléctrico?

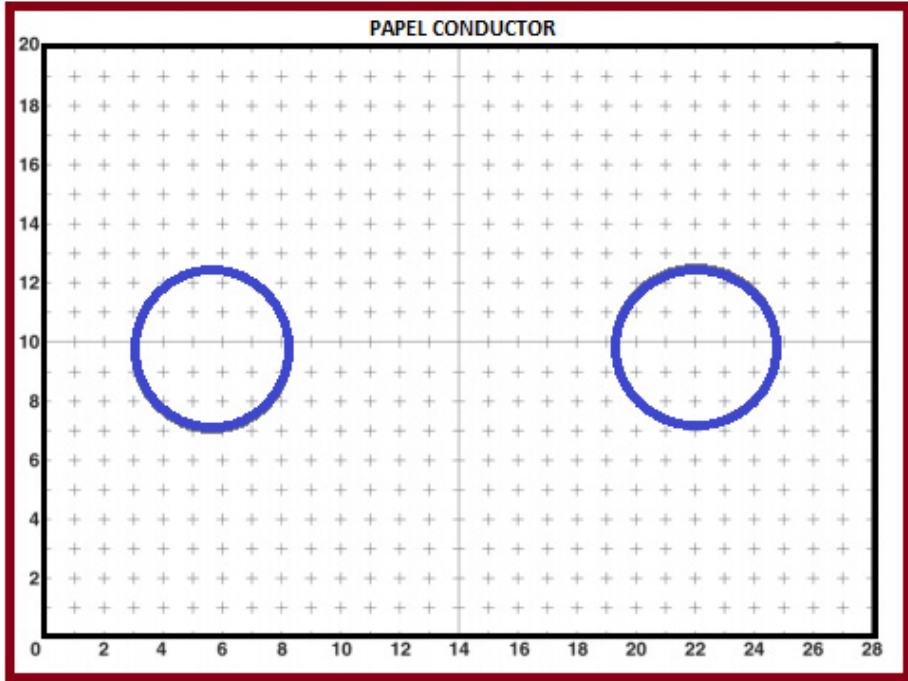


Fig. 10. *Ejercicio Práctico - Líneas equipotenciales
configuración Anillo-Anillo*
Fuente: Elaboración propia.

Universidad de la Costa Departamento de Ciencias Naturales y Exactas Experiencia No. 2 Líneas Equipotenciales Laboratorio de Física de Campos	Fecha		
	DÍA	MES	AÑO
Nombres	Grupo		

Experiencia 2:
Líneas Equipotenciales

A. Introducción

Observar y construir experimentalmente la formación de líneas equipotenciales para diferentes configuraciones geométricas de carga.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Hojas de papel conductor (3), panel de corcho (1), Lápiz de tinta de plata (1), Chinchas (4), Cables de conexión (1), Interfaz Pasco (1), Sensor de Voltaje (1).

C. Actividades de la experiencia

- 1. Sujete el papel negro conductor a la lámina de corcho con los chinchas.
- 2. Verifique la continuidad de los electrodos.

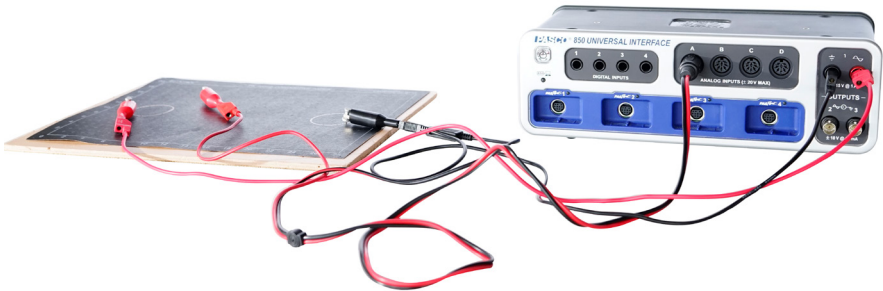
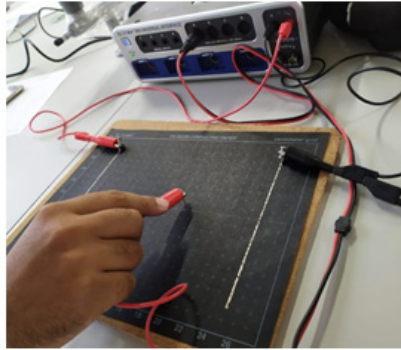
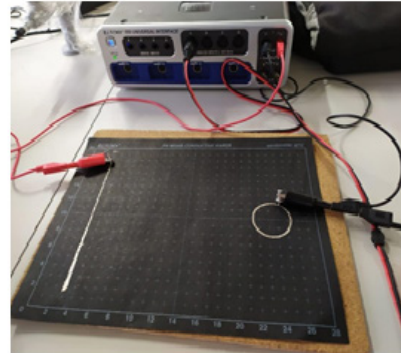


Fig. 11. *Montaje Experimental.*
Fuente: Elaboración propia.

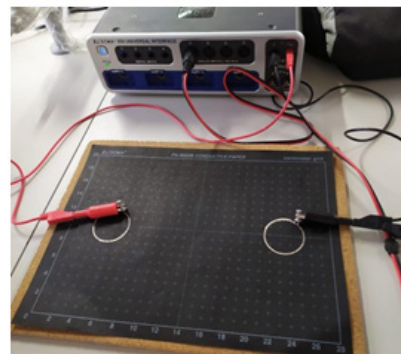
3. Conecte los electrodos mediante la interfaz Pasco y el computador, ajuste el voltaje de salida de la fuente a 10 voltios (**Fig. 11**).



a. Configuración Barra-Barra



b. Configuración Barra-Anillo



c. Configuración Anillo-Anillo

Fig. 12. *Montaje Experimental de las configuraciones de cargas dibujadas sobre papel.*

Fuente: Elaboración propia.

- 4. Coloque el positivo de la fuente (en la interfaz) seguidamente encuentre 5 puntos donde el potencial sea el mismo, hágalo para 6 potenciales diferentes (para la configuración barra-barra) y ubique los puntos sobre la hoja de papel anexada a este documento (No rallar sobre el papel conductivo).
- 5. Dibuje los puntos de tal manera que luego pueda unirlos trazando una línea continua. Repita los pasos 4 y 5 para las configuraciones barra-anillo y anillo-anillo de Fig. 12. Para estas configuraciones encuentre 10 puntos cerca del anillo donde el potencial sea el mismo (para dos potenciales diferentes).

D. Cálculo y análisis de preguntas

- 1. Según los gráficos obtenidos en cada una de las configuraciones. ¿Qué puede decir de las gráficas obtenidas en la configuración Barra-Barra, Barra-Anillo y Anillo-Anillo? Explique su respuesta.

- 2. ¿Es posible obtener las líneas de campo eléctrico en cada una de las configuraciones, a partir de las gráficas de superficies equipotenciales? Explique:

- 3. Realice las gráficas de líneas de campo eléctrico sobre la misma hoja donde realizó las gráficas de superficies equipotenciales.

4. ¿Qué sucederá si se repite la experiencia con un voltaje de 12 voltios y se trazan las líneas equipotenciales para los mismos voltajes?

5. ¿Cerca de cuál de las cargas el potencial es mayor? ¿Está de acuerdo con la teoría?

E. Conclusiones de la experiencia

Cap. 3

Capacitor Variable de Placas Paralelas

I. Introducción

El Físico y Médico Holandés Pieter Musschenbroek, en el año 1746, inventó un dispositivo que podía almacenar cargas eléctricas. En honor a la ciudad en donde trabajaba lo llamó Botella de Leyden. Este instrumento consistía en un envase de vidrio (dieléctrico), el cual se encontraba recubierto por ambas caras con una lámina de estaño. La placa de adentro tiene un cable conductor que finaliza en un vástago metálico con cabeza esférica conductora, que penetra el corcho aislante del recipiente de vidrio [1, p. 562].

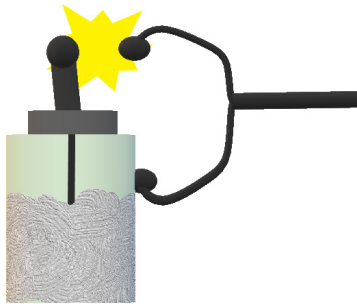


Fig. 13. *Botella de Leyden.*
Fuente: Elaboración propia.

Actualmente estos dispositivos capaces de almacenar carga, campo y potencial eléctrico, son conocidos con el nombre de capacitores o condensadores, los cuales consisten en dos materiales metálicos, aislados uno del otro por medio de un dieléctrico. La polarización entre las partes conductoras genera una diferencia de potencial V entre ellas, quedando con la misma cantidad de carga en cada parte.

II. Capacitancia

El capacitor de placas paralelas está formado como su nombre lo indica, por dos laminas conductoras paralelas de área (no hay ningún medio material presente entre las placas), que tienen cargas iguales con valores de $+q$ y $-q$, alejadas una longitud d entre ellas (Fig. 14). Las unidades de A es m^2 y d se mide en m .

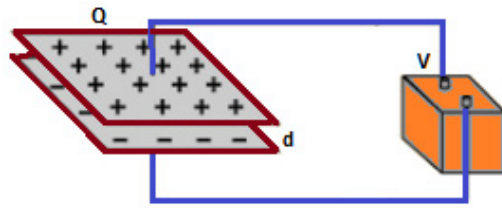


Fig. 14. Esquema de capacitor de placas paralelas.

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación que relaciona la carga almacenada en el condensador y el voltaje entre las placas es (3.1):

$$q = C \cdot V \quad (3.1)$$

Donde C es la capacitancia y es una magnitud constante. Es una magnitud cuantitativa que expresa la capacidad que tiene el capacitor para almacenar carga.

La capacitancia está ligada a la geometría del capacitor, y para el caso del condensador de láminas paralelas, se determina mediante la siguiente expresión (3.2):

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (3.2)$$

Donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica en el vacío ($8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$).

Según el SI la capacitancia se mide en unidades llamadas Faradios (F), 1 Faradio es igual a 1 Coulomb (C) sobre 1 Voltio (V). debido a que el faradio es una magnitud grande, generalmente se usan los submúltiplos del faradio, como el nanofaradio ($1 \text{ nF} = 10^{-9}\text{F}$), el picofaradio ($1 \text{ pF} = 10^{-12}\text{F}$) y el microfaradio ($1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$), las cuales son unidades más convenientes en la práctica.

Para el caso que se quiera encontrar la magnitud de carga almacenada por condensador de placas paralelas en un intervalo de tiempo, se puede proceder de la siguiente manera.

Se realiza el montaje de la Fig. 15, colocando las placas del capacitor a una distancia de 6 cm y conectándolas al puerto de +2000 V CC de la fuente de voltaje, se calcula el valor del voltaje en la parte central de una de las placas del capacitor. El valor registrado por el electrómetro es de $\Delta V_E = 5\text{V}$.

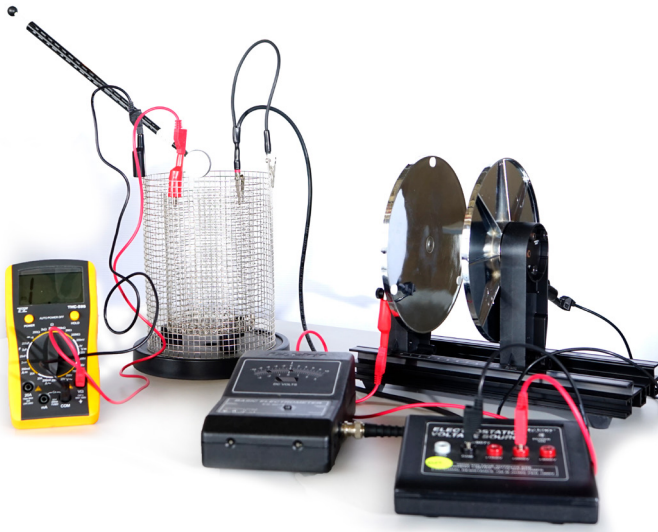


Fig. 15. Valor de voltaje registrado con ayuda del portador de carga y la jaula de Faraday.

Fuente: Elaboración propia.

Reescribiendo la ecuación (3.1) la podemos expresar como (3.3):

$$Q_p = C_F(\Delta V_E) \quad (3.3)$$

Donde Q_p es la carga en el portador C_p , es la capacitancia de la jaula de Faraday (22pF), ΔV_E es el voltaje marcado por el electrómetro (5V).

Para encontrar la carga total en el capacitor, hay que relacionar el área de una de sus placas con el área del portador de carga, como lo muestra la ecuación (3.4).

$$Q_{medida} = Q_p \cdot \frac{A_{cap}}{A_p} \quad (3.4)$$

Donde A_{cap} es el área de una placa del capacitor ($254.4 \times 10^{-4} m^2$) y A_p es el área del portador de carga ($7.068 \times 10^{-4} m^2$).

Reemplazando valores numéricos y el resultado de la ecuación (3.3) en la ecuación (3.4), tenemos:

$$Q_{medida} = 0,11 \text{ nC} \cdot \frac{254,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{7,068 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$Q_{medida} \approx 4 \text{ nC}$$

Para calcular el porcentaje de error sobre Q_{medida} es necesario calcular $Q_{teórica}$. Para eso hallamos primero C con la ecuación (3.2):

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} \cong 3,7524 \cdot 10^{-12} F$$

$$C = \frac{(8,85 \times 10^{-12} C^2 / Nm^2) \cdot (254,4 \times 10^{-4} m^2)}{0,06m}$$

$$C \cong 3,7524 \times 10^{-12} F$$

Conocida la capacitancia se procede a calcular $Q_{teórica}$ mediante la ecuación (3.1):

$$Q_{teórica} = C \cdot \Delta V$$

$$Q_{teórica} = 3,7524 \times 10^{-12} F \cdot 2000 V$$

$$Q_{teórica} \cong 7,50 nC$$

De tal manera que el error relativo de la Q_{medida} es:

$$\%Error = \left| \frac{\text{valor teorico} - \text{valor experimental}}{\text{valor teorico}} \right| \cdot 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{4 - 7,50}{7,50} \right| \cdot 100\% \cong 46,6\%$$

Las posibles causas para este error en la medida son las condiciones atmosféricas y la velocidad con que se tomen las muestras de voltaje.

III. Ejercicios prácticos

Un estudiante de ingeniería desea calcular la cantidad de carga eléctrica que almacena un condensador circular de placas paralelas que es alimentado por una f.e.m de 2000 V y en donde sus laminas están alejadas una distancia de 7 cm. Al hacer contacto el colector de carga con un punto de la región central del capacitor y colocarlo dentro de la jaula de Faraday el electrómetro marco un voltaje de 7 V. Si el diámetro de una de sus placas es de 10 cm y el del colector de carga es de 3 cm, determinar el error relativo en la medida realizada por el estudiante.

Universidad de la Costa
 Departamento de Ciencias Naturales y Exactas
 Experiencia No. 3
 Capacitor Variable de Placas Paralelas
 Laboratorio de Física de Campos

Fecha		
DÍA	MES	AÑO

Grupo

Nombres _____

Experiencia 3: *Capacitor Variable de Placas Paralelas*

A. Introducción

Analizar la correlación entre el voltaje aplicado, la carga eléctrica y capacitancia, para un condensador de láminas paralelas. Observar como el cambio en la geometría de las placas del capacitor puede cambiar su capacitancia.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Capacitor variable de placas paralelas (1), electrómetro (1), portador de carga, jaula de Faraday (1), fuente de voltaje electrostático (1), multímetro digital (con medida de capacitancia) (1), cable de entrada de señal y cable de conexiones (1).

C. Actividades de la experiencia

Este laboratorio utilizará un condensador variable. La carga se medirá a partir de sus placas que utilizan el plano de prueba, la jaula de Faraday y el electrómetro. El electrómetro mide la diferencia potencial entre el enmallado exterior e interior de la jaula de Faraday. Cada jaula está conectada a una placa de un condensador interno, marcado como CE (Fig. 16), y la diferencia de voltaje sobre el condensador puede medirse mediante el voltímetro interno.

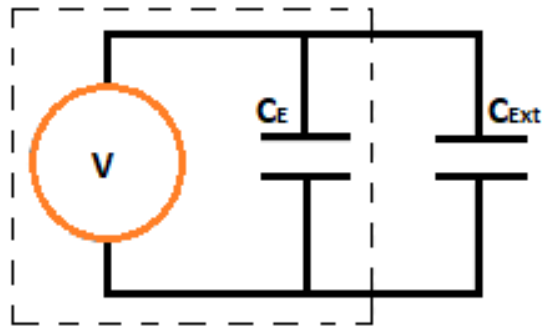


Fig. 16. *Diagrama del circuito del electrómetro.*

Fuente: Elaboración Propia.

Procedimiento

Para relacionar la carga real en la lámina del capacitor con la diferencia de voltaje y la jaula de Faraday, se necesita encontrar la capacitancia de la jaula de Faraday, los cables de señal y la capacitancia interna del electrómetro como una sola unidad. A partir de lo anterior se permite utilizar la siguiente fórmula (3.3):

$$Q_p = C_F(\Delta V_E) \quad (3.3)$$

1. Conexión

Configure la fuente Vc electrostática, la jaula de Faraday y el electrómetro como se muestra en **Fig. 17**, teniendo cuidado de asegurarse de que la fuente de voltaje electrostático esté conectada a la toma de corriente, pero aún no este encendida, y el electrómetro está conectado a tierra a través del puerto COM en la fuente de voltaje electrostático.



Fig. 17. *Configuración de la experiencia.*

Fuente: Elaboración propia.

2. Medidas

Use un multímetro portátil para medir la capacitancia a través de la jaula de Faraday con el electrómetro conectando el cable negro del multímetro al exterior la jaula y el cable rojo a la jaula interna y registrar el valor como CF (Fig. 18).

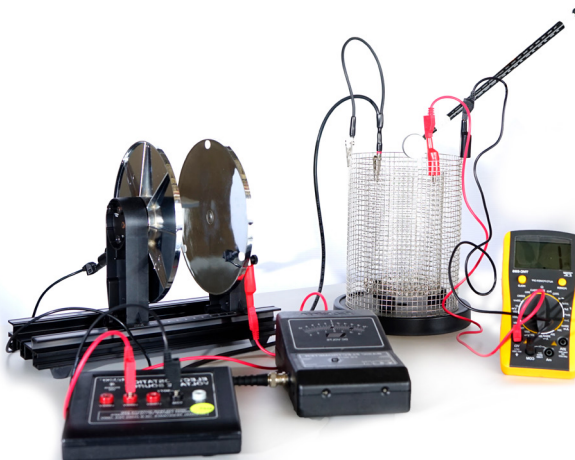


Fig. 18. *Medida de la capacitancia en la experiencia.*

Fuente: Elaboración propia.

Conecte todo el equipo. Organice estos dispositivos de modo que el capacitor variable esté lo más alejado posible del electrómetro. El condensador variable debe de tener una separación de las placas inicial de 6 cm y al encenderla verifique que esté conectado al puerto de +2000 V CC de la fuente electrostática. La jaula de Faraday debe estar conectada al electrómetro, y el electrómetro estar conectada a tierra a través del puerto COM de la fuente de voltaje electrostático. Descargue la jaula colocando a cero el electrómetro.

D. Cálculo y análisis de preguntas

Parte 1

1. Momentáneamente conecte a tierra el portador de carga y luego úselo para examinar la densidad de carga del condensador, utilizando la jaula de Faraday para medir la carga. Investigue la densidad de carga en diferentes puntos de las placas, tanto en la superficie externa como interna. ¿Cómo varía la densidad de carga sobre la placa? Registre algunos valores de la diferencia de potencial del electrómetro junto con un diagrama que muestre en qué parte de las placas se tomaron las muestras.

2. Elija un punto cerca del centro de la placa positiva del condensador. Registre el valor del voltaje que aparece en el electrómetro como ΔV_E . Lo usará para encontrar la carga en las láminas del capacitor variable. A partir de la ecuación (3.3) calcule la carga en el plano de prueba y registrar el resultado.

3. Calcule la capacitancia esperada para el capacitor variable en esta disposición a partir de la ecuación (3.2). El diámetro de las placas del condensador es de 18 cm.

-
-
-
-
4. Calcule la carga que debería estar en el capacitor de acuerdo con la teoría usando la ecuación (3.1), donde $\Delta V = 2000 \text{ V}$ que es el voltaje aplicado entre las láminas del condensador.

-
-
-
-
5. Ahora compare el valor teórico de la carga con lo que mide el electrómetro. Mida el diámetro del portador de carga (Observe que el área del portador de carga es mucho más pequeña que el área de las placas del capacitor). Calcule la carga total medida en el condensador con la ecuación (3.4).

-
-
-
-
6. Compare el valor medido Q_{medida} con el valor esperado $Q_{\text{teórica}}$. Si son diferentes, ¿qué efectos podrían haber contribuido a la discrepancia?

Parte 2

1. Mantenga la misma configuración de la parte anterior. Nuevamente, elija un punto cerca del centro de una de las placas del condensador y mida la densidad de carga en este mismo punto utilizando 5 separaciones diferentes para la placa del capacitor, d , en total (una de ellas debe ser la separación inicial de 6 cm).

2. ¿La capacitancia es mayor cuando las placas están más juntas o separadas? ¿Cómo varía la carga con la capacitancia?

3. Trace la gráfica de ΔV Vs $(1/d)$. ¿Qué tipo de gráfica resulta?, encuentre la pendiente de la línea. ¿Por qué crees que el gráfico tiene la forma que tiene? (Recuerde de la parte anterior que $\Delta V \propto Q$ donde Q es la carga en el capacitor). ¿Apoya esto la idea de que la capacitancia de un capacitor de láminas paralelas es inversamente proporcional al distanciamiento de las láminas?

Parte 3

1. Mantenga la configuración básica del equipo como en la parte 2. El condensador variable tiene una separación inicial de la placa de 6 cm y se conecta inicialmente al puerto de +3000 V CC en la fuente de voltaje electrostático. Asegúrese de que la jaula de Faraday todavía esté conectada a tierra como antes. Mantenga constante la separación de la placa y cambie el potencial a través de las placas cambiando la configuración de la fuente de voltaje. Debe mover el cable de conexión del puerto de +3000 V al puerto de +2000 V. Examine la densidad de carga cerca del centro de una placa de condensador. Repita con +1000 VDC. ¿Cómo varía la carga con el voltaje? ¿Por qué?

E. Conclusiones de la experiencia

Cap. 4

Combinación de capacitores
en serie y paralelo

I. Introducción

Los capacitores son dispositivos constituidos por 2 laminas conductoras (metálicas) alejadas por un aislante (dieléctrico). Un dieléctrico es un material que impide la circulación de la corriente directa entre las placas (corto circuito).

Similar como en las resistencias, los capacitores son instrumentos que también podemos asociarlos en serie, en paralelo y con una estructura mixta. A continuación, estudiaremos las reglas y las condiciones que se requieren para poder relacionar a los capacitores y de cómo obtenemos la capacitancia equivalente para las diferentes configuraciones tanto en serie como en paralelo.

Según el SI la unidad de medida para la capacitancia de un capacitor es el Faradio (F). Un faradio representa a una carga eléctrica de 1 C cuando se le somete un voltaje de 1 Volt entre sus extremos. En nuestra vida cotidiana, la capacidad de los capacitores se expresa en submúltiplos del faradio como son μF , nF , pF (Tabla 1).

TABLA 1.
TABLA DE CONVERSIÓN DE CAPACITANCIA.

Picofaradios (pF)	Nanofaradios (nF)	Microfaradios ()
1	0,001	0,000001
10	0,01	0,00001
100	0,1	0,0001
1000	1	0,001
10000	10	0,01
100000	100	0,1
1000000	1000	1
10000000	10000	10
100000000	100000	100

Fuente: Autores.

II. Capacitancia y asociación de capacitores

Los condensadores o capacitores se utilizan normalmente para acumular energía eléctrica o para generar campos eléctricos de diferente geometría, tanto en la industria como en nuestra vida cotidiana utilizamos circuitos electrónicos que los emplean en gran parte.

La magnitud de carga eléctrica en Coulomb (C) por unidad de voltaje en Voltios (V) que se presenta entre las placas del capacitor al ser conectadas a una fuente de voltaje se conoce como Capacitancia (C), la cual representa (4.1):

$$C = \frac{q}{V} \quad (4.1)$$

Según el sistema internacional de unidades la capacitancia se mide en unidades llamadas Faradios (F), 1 Faradio es igual a 1 Coulomb (C) sobre 1 Voltio (V). Debido a que el faradio es una magnitud grande, generalmente se usan los submúltiplos del faradio, como el nanofaradio ($1 \text{ nF} = 10^{-9}\text{F}$), el picofaradio ($1 \text{ pF} = 10^{-12}\text{F}$) y el microfaradio ($1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$), las cuales son unidades más convenientes en la práctica.

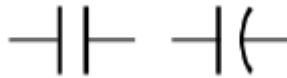


Fig. 19. Representación de un capacitor en un símbolo eléctrico.

Fuente: Autores.

En ocasiones, los capacitores se pueden conectar de diferentes formas en un circuito eléctrico, como son:

A) Capacitores en serie

En esta configuración, los capacitores se encuentran distribuidos uno a continuación de otro, tal como se observa en la Fig. 20.

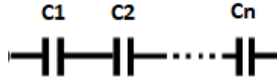


Fig. 20. *Combinación de capacitores en serie.*
Fuente: Elaboración propia.

Cuando se tiene esta configuración, la carga que hay en cada capacitor es la misma, pero la diferencia de potencial en cada uno de estos es diferente. Se pueden obtener una capacitancia equivalente que represente todos los condensadores del circuito, esta se calcula como (4.2):

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.2)$$

La capacitancia equivalente o total de una combinación de condensadores en serie invariablemente es menor que cualquier capacitancia individual de la agrupación [1, p. 565].

B) *Capacitores en paralelo*

Cuando se tienen condensadores en paralelos, cada uno de estos comparte dos puntos (nodos) de la conexión, como se ilustra en la Fig. 21.

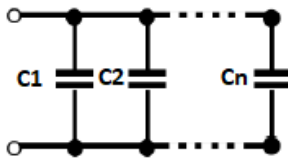


Fig. 21. *Combinación de capacitores en paralelo.*
Fuente: Elaboración propia.

Cuando se tiene esta distribución, la diferencia de voltaje a través de cada capacitor es la misma, igual a la que suministra la fuente, pero la carga en cada uno de estos es diferente. Se pueden obtener una capacitancia equivalente que represente todos los capacitores del circuito, esta se calcula como (4.3):

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (4.3)$$

La capacitancia resultante o total de una asociación de capacitores en serie siempre es mayor que cualquier capacitancia por separada en la asociación.

Para el montaje de la Fig. 22, la magnitud de carga acumulada en el circuito se puede calcular de manera teórica asociando los capacitores, ya sea en serie o en paralelo.

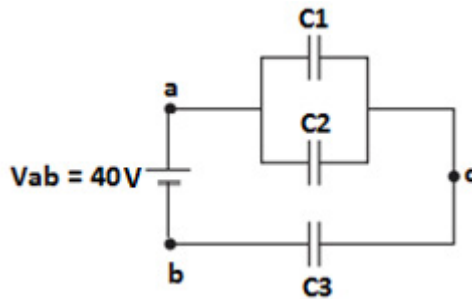


Fig. 22. Montaje de capacitores conectados a una fuente de voltaje.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2, muestra los valores de capacitancia y de voltaje máximo de los capacitores utilizados en el montaje de la Fig. 22.

TABLA 2.
INFORMACIÓN DE LOS CONDENSADORES.

	Capacitancia	Voltaje Maximo
C1	6 μF	50 V
C2	3 μF	50 V
C3	5 μF	50 V

Fuente: Autores.

Para el circuito de la Fig. 22 la reducción nos queda como:

$$C^* = C1 + C2 = 6\mu F + 3\mu F \rightarrow C^* = 9\mu F$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C^*} + \frac{1}{C3} = \frac{1}{9\mu F} + \frac{1}{5\mu F} \rightarrow C_{eq} \cong 3,21\mu F$$

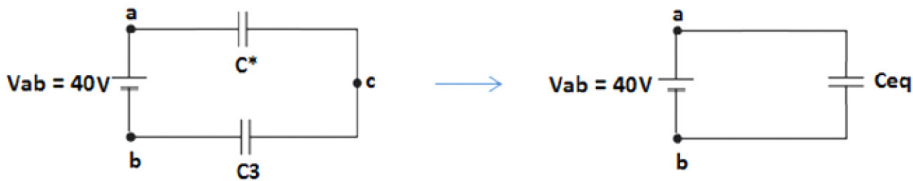


Fig. 23. Asociación de capacitores en serie y paralelo.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la ecuación (4.1) tenemos que la Q_{total} del circuito es:

$$Q_{total} = C_{eq} \cdot V_{ab} = 3,21\mu F \cdot 40V \cong 128,4\mu C$$

También podemos hallar el valor de Q_{total} con ayuda de un multímetro, primero verificamos el valor de la capacitancia de cada uno de los condensadores y posteriormente medimos los voltajes V_{ac} y V_{cb} . Los valores registrados por el multímetro fueron los siguientes:

- $C1 \cong 6\mu F$
- $C2 \cong 3\mu F$
- $C3 \cong 4\mu F$
- $V_{ab} \cong 39V$
- $V_{ac} \cong 13.33V$
- $V_{cb} \cong 24V$

De tal manera que:

- $Q1 = V_{ac} \cdot C1 = 13.33V \cdot 6\mu F \cong 80\mu C$
- $Q2 = V_{ac} \cdot C2 = 13.33V \cdot 3\mu F \cong 40\mu C$
- $Q3 = V_{cb} \cdot C3 = 24V \cdot 5\mu F \cong 120\mu C$

Debido a que en una asociación tipo serie la carga es la misma para cada capacitor independientemente de su capacidad, la carga en C3 sería la misma que la carga en el capacitor resultante de la asociación en paralelo de C1 y C2, o lo que es lo mismo:

$$Q_{total} = Q_3 = Q_1 + Q_2 = 120\mu C$$

De tal manera que el error relativo de la Q_{total} sería:

$$\%Error = \left| \frac{Valor\ te\ orico - valor\ experimental}{valor\ te\ orico} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{128,4 - 120}{128,4} \right| \cdot 100\% \cong 6,54\%$$

III. Ejercicio propuesto

Un estudiante de ingeniería desea calcular la magnitud de carga eléctrica que almacena el circuito mostrado en la Fig. 24, se utilizó una fuente de 20 V.

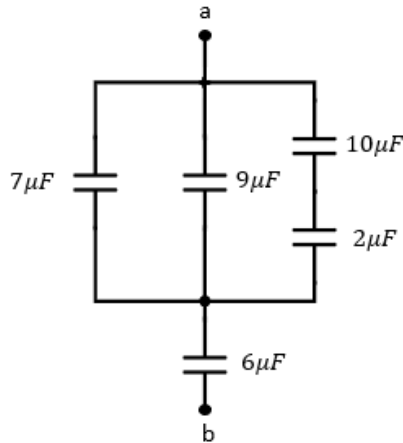


Fig. 24. Montaje de capacitores conectados a una fuente de voltaje de 20V.

Fuente: Elaboración propia.

Universidad de la Costa	<table><tr><th colspan="3">Fecha</th></tr><tr><td>DÍA</td><td>MES</td><td>AÑO</td></tr></table>			Fecha			DÍA	MES	AÑO
Fecha									
DÍA	MES	AÑO							
Departamento de Ciencias Naturales y Exactas									
Experiencia No. 4									
Combinacion de capacitores en serie y paralelo	<table><tr><th>Grupo</th></tr><tr><td> </td></tr></table>			Grupo					
Grupo									
Laboratorio de Física de Campos									
Nombres									

Experiencia 4:
Combinación de capacitores en serie y paralelo

A. Introducción

Describir la relación entre el voltaje, la carga almacenada y capacitancia equivalente para diferentes configuraciones de capacitores.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Laboratorio electrónico EM-8656 Pasco (1), Condensadores de diferentes capacitancias (3), Interfaz universal PASCO 850 (1), Sensor de voltaje y cables conectores (1), Multímetro digital (con medida de capacitancia) (1).

C. Actividades de la Experiencia

1. Haga un reconocimiento de los condensadores a utilizar, anote los valores de la capacitancia (teórica) y voltaje máximo de operación en la **Tabla 3**.
2. En el laboratorio electrónico EM-8656, realice el montaje 1 que se ilustra en la **Fig. 25**, teniendo en cuenta los colores asignados a los cables para conectar la fuente (cable rojo: mayor potencial, cable negro: menor potencial).
3. Conecte el interfaz de PASCO CAPSTON a la computadora y coloque una entrada de 10 V. Ahora conecte el sensor diferencia de potencial en el canal del interfaz con el fin de conocer el voltaje a través de cada capacitor. Una vez inicie el software PASCO, este detectará automáticamente el sensor.

4. Proceda a medir el voltaje sobre cada capacitor y reporte sus resultados en la **Tabla 4**. Tenga en cuenta que el sensor determina el voltaje situado entre dos puntos y su medida debe realizarse en paralelo.
5. Realice el diagrama de la **Fig. 25** en el laboratorio electrónico EM-8656, repita el paso d) y reporte su información en la **Tabla 5**.

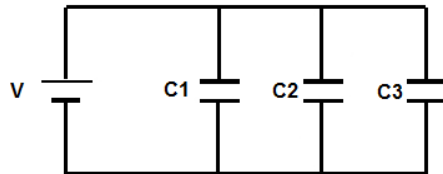


Fig. 25. *Montaje 1 (Capacitores en paralelo).*

Fuente: Elaboración propia.

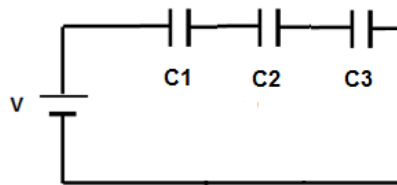


Fig. 26. *Montaje 2 (Capacitores en serie).*

Fuente: Elaboración propia.

Registre la información correspondiente de cada proceso en la siguiente **Tabla 3**, **Tabla 4** y **Tabla 5**.

TABLA 3.
INFORMACIÓN DE LOS CONDENSADORES.

	Capacitancia (F)	Voltaje (V)
C1		
C2		
C3		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 4.
DIFERENCIA DE POTENCIA A TRAVÉS DE CADA CONDENSADOR MONTAJE 1.

	Capacitancia (F)	Voltaje (V)
V(C1)		
V(C1)		
V(C1)		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 5.
DIFERENCIA DE POTENCIA A TRAVÉS DE CADA CONDENSADOR MONTAJE 2.

	Capacitancia (F)	Voltaje (V)
V(C1)		
V(C2)		
V(C3)		

Fuente: Elaboración propia.

Con el multímetro mida la capacitancia equivalente para cada montaje, para esto desconecte los terminales de la fuente en el circuito remplazando los terminales de dicha fuente por los del multímetro.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. A partir de la **Tabla 3**, calcule la capacitancia equivalente para el montaje 1 (paralelo) y montaje 2 (serie) usando las ecuaciones (4.2) y (4.3).

TABLA 6.

	Paralelo	Serie
Ceq(F)		

2. Usando la información de la **Tabla 3**, **Tabla 4** y **Tabla 5**, y con la ayuda de la ecuación (4.1), calcule la carga que hay en cada condensador para ambas configuraciones (serie y paralelo). Reporte sus resultados en la siguiente tabla.

TABLA 7.

Capacitancia (F)	Voltaje en serie (V)	Carga (C)	Voltaje en serie (V)	Carga (C)
C1=				
C2=				
C3=				

3. ¿Qué sucede con los valores de voltaje a través de cada capacitor en los montajes 1 y 2?

4. ¿Cuál es la regla general para los voltajes y la carga de un capacitor, cuando se conecta en serie y en paralelo? ¿Se cumple dicha regla en base a sus resultados?

5. Calcule el error en la capacitancia equivalente.

6. ¿Qué representa el voltaje máximo en un condensador?

7. Las láminas de un condensador están unidas a una batería mediante dos cables conductores ¿qué le sucede a la carga si los cables se desconectan de la batería y se conectan entre ellos?

8. Un par de condensadores están conectados en paralelo, en tanto que otro par de condensadores idénticos están conectados en serie. ¿Cuál de estos resulta ser más peligroso después de haber sido conectado a la misma batería?

E. Conclusiones de la experiencia

I. Introducción

La resistencia específica o resistividad (ρ) es una característica de los elementos conductores, que determina el grado de resistencia de un material para dificultar la circulación de una corriente eléctrica. Su magnitud no depende de la masa, tampoco del tamaño del cuerpo. Su relación es solamente con las características microscópicas con la materia de la que está constituido el cuerpo. Siendo esta una característica intensiva.

Para material conductor homogéneo que se encuentra a una temperatura constante, la resistividad es una propiedad específica, sin embargo, esta propiedad puede ser afectada por cambios geométricos en el material, impurezas o cambios de temperatura. Para el caso de algunos materiales, como el selenio, cuando se iluminan intensamente la resistividad sufre una disminución, por lo cual se utiliza en la construcción de placas fotoeléctricas. El promedio del valor de resistividad para los materiales conductores se encuentra en el rango de $10^{-8} \Omega \cdot m$.

Los aislantes eléctricos son aquellos cuerpos con mucha resistividad (ejemplo los polímeros), los de mediana resistividad se llaman semiconductores (ejemplo el germanio o silicio) y por ultimo los conductores eléctricos son aquellos de poca resistividad (ejemplo el aluminio o el cobre).

Existen diferentes elementos metalicos para los cual la resistividad es cero por debajo de cierto valor de temperatura llamada temperatura crítica. El físico holandés Heike Kamerling Onnes describió este efecto, con el nombre de superconductividad [2].

II. Resistencia

Supongamos que inicialmente tenemos una varilla de aluminio con una resistencia, una resistividad y una de longitud específica, y luego, esta varilla se corta en dos partes iguales. ¿Qué ocurre con la magnitud de su resistencia y con su resistividad? La respuesta es: el valor de su resistividad se mantiene invariante y la magnitud de la resistencia se reduce a la mitad.

Para el caso de un alambre o varilla metálica, se obtiene experimentalmente que la resistencia eléctrica es directamente proporcional a la longitud del elemento e inversamente proporcional al área de su sección transversal.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (5.1)$$

En la ecuación (5.1) ρ representa la resistividad del material y representa una constante de proporcionalidad para aquellos materiales óhmicos. La temperatura y el contenido de impurezas en el material pueden hacer que varíe la resistividad característica del elemento independiente de la cantidad que se tenga de éste.

Para el caso que se conozca la longitud, la resistencia y el área de sección transversal, se puede determinar el valor de resistividad despejándola de la ecuación (5.1):

$$\rho = R \cdot \frac{A}{L} \quad (5.2)$$

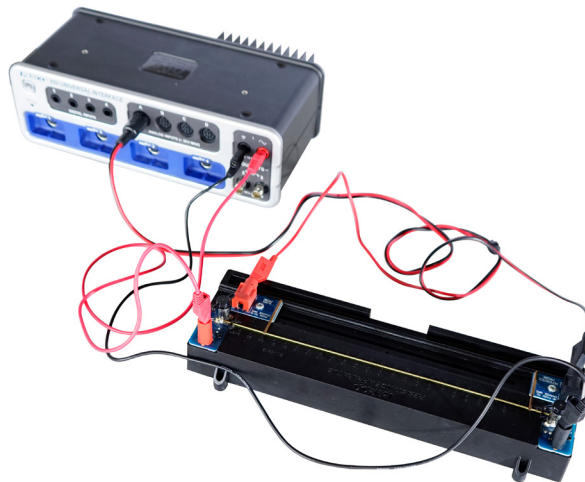


Fig. 27. *Montaje experimental experiencia de resistividad.*
Fuente: Elaboración propia.

Consideremos el sistema mostrado en la Fig. 27, sobre el cual se coloca una varilla de un material determinado. La sonda de referencia se ubica en la marca de 0 cm y la sonda deslizante en la marca de 2 cm en el aparato de resistividad.

En el sistema vamos variando la longitud de 2 cm en 2 cm hasta la marca 20 cm en el aparato de resistividad. A través de un sistema de medición podemos obtener los siguientes datos de longitud y resistencia como se muestra en la Tabla 8.

TABLA 8.
DATOS DE LONGITUDES Y RESISTENCIA.

L (cm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
R(mΩ)	18.209	37.328	56.449	74.913	95.667	113.333	133.917	152.933	171.329	191.199

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 28 modela el comportamiento de la ecuación (5.1), donde podemos obtener la resistividad del material, calculando la pendiente de la gráfica y multiplicándola por el área transversal de la varilla. Teniendo en cuenta que el diámetro de la varilla es 1.016 mm entonces el valor del área del área transversal es: $A = 8.11 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$.

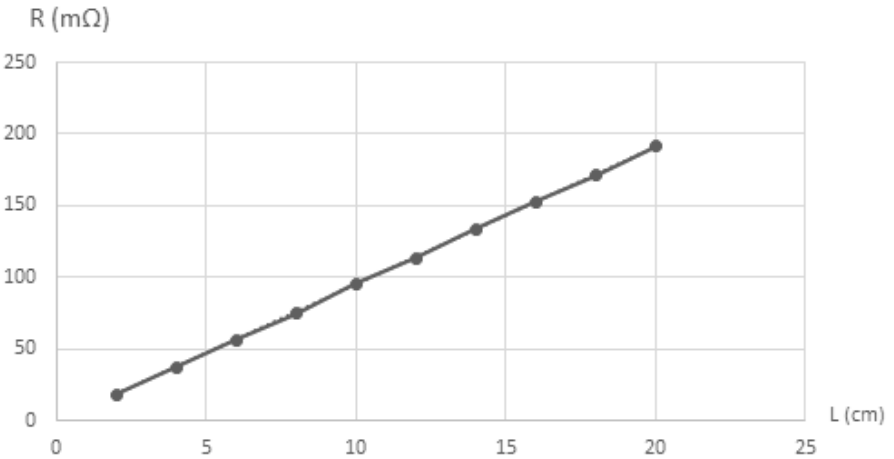


Fig. 28. Relación entre resistencia y longitud.
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el cálculo correspondiente tenemos que la resistividad $\rho = 0.0779 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$. Este valor se aproxima a la resistividad del acero inoxidable mostrado en la **Tabla 8** el cual es de $\rho = 79.3 \text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$.

Por lo que es posible conocer el error porcentual del valor calculado de la resistividad como en la ecuación (5.3):

$$\varepsilon\% = \frac{|V_{exp} - V_{teo}|}{V_{teo}} \times 100\% \quad (5.3)$$

$$\varepsilon\% = \frac{|77.9 - 79.3|}{79.3} \times 100\% \Rightarrow \varepsilon\% = 1.76\%$$

El error aproximado del 1.76% indica que la toma de datos fue buena.

III. Ejercicio propuesto

Considere el sistema mostrado en la **Fig. 30**, un estudiante de ingeniería realizó toma de datos de longitud y resistencia. Los datos tomados son mostrados en la **Tabla 9**.

TABLA 9.
DATOS DE LONGITUDES Y RESISTENCIA.

L (cm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
R(mΩ)	0.6825	2.056	3.9185	5.598	7.0434	9.1833	10.7889	12.4462	14.2014	15.6914

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos identifique de qué material esta hecho la varilla.

Universidad de la Costa
Departamento de Ciencias Naturales y Exactas
Experiencia No. 5
Resistividad
Laboratorio de Física de Campos

Fecha		
DÍA	MES	AÑO

Grupo

Nombres

*Experiencia 5:
Resistividad*

A. Objetivos

Determinar la magnitud de la resistividad para diferentes tipos de materiales óhmicos, a partir de la relación existente entre la resistencia y la longitud.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Interfaz universal PASCO 850 (1) o aparato de resistencia (1) o sensor de voltajes (1) o varillas metálicas (1) o vernier (1).

C. Actividades de la experiencia

1. Inicialmente realice las conexiones mostradas en la Figura 27 y seleccione tres alambres metálicos. Comience con el rango de voltaje más alto (100 V) y ajústelo si es necesario. Si realiza el ajuste se recomienda utilizar en 30 V para una medida más precisa.
2. Cerciórese de conectar el sensor de voltaje en el puerto A de la interfaz universal PASCO 850 y colocar en la parte inferior de la plantilla una frecuencia de 100Hz.
3. Seleccione en la plantilla lado izquierdo “Generador de señales” en la salida 1 debe establecerse para un voltaje CC de 0.10 V, Limite de voltaje y corriente a 5 V y 0,55 A, respectivamente; luego oprima el botón “Encendido” para establecer la conexión en el circuito.
4. Tome una de las varillas a medir y colócala ajustada en el aparato de resistividad (colóquela y retírela con cuidado para no doblar las varillas).

5. Coloque la sonda de referencia en la marca de 0 cm y la sonda deslizante en la marca de 2 cm en el aparato de resistividad.
6. Presione el botón VISTA PREVIA del lado izquierdo inferior. Espere unos segundos hasta que la medida se estabilice, luego seleccione el botón MANTENER MUESTRA.
7. Deslice la sonda deslizante hasta la marca de 4 cm en el aparato de resistividad, espere que se estabilice la medida, luego seleccione en el botón MANTENER MUESTRA.
8. Repita el paso anterior para marcas de 2 cm en 2 cm hasta la marca 24 cm en el aparato, en total tomará 12 datos.
9. De la plantilla observe el comportamiento en el gráfico de R vs L y realice el ajuste.
10. Repita el procedimiento 4 al 9 para los otros dos alambres.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. ¿Qué relación de proporcionalidad se presenta para variables L y R ? ¿Guarda relación de acuerdo a sus conocimientos teóricos? Justifique.

2. A partir de la gráfica de R vs L (Fig. 28), obtenga la ecuación experimental.

3. ¿Cuál es la magnitud y las unidades de la pendiente del punto anterior? ¿qué representa físicamente?

4.

¿Pueden dos alambres metálicos de diferentes elementos y con el mismo diámetro tener la misma resistencia? Explique.
5.

Al pasar la misma corriente a través de dos alambres semejantes de áreas desiguales. ¿Cuál se calentará más y por qué?
6.

Determine el valor de la resistividad de los diferentes tipos de alambres utilizados, a partir del valor de la constante de proporcionalidad.

TABLA 10.
RESISTIVIDADES DE DIFERENTES MATERIALES.

Material	Diámetro (mm)	Resistividad Teórica $\mu\Omega\cdot\text{cm}$	Resistividad experimental $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
Cobre	1.016	1.78	
Aluminio	1.016	4.99	
Latón	1.016	7.3	
Nicrom	1.016	108	
Acero Inoxidable	1.016	79.3	

Fuente: Autores.

7.

Determinar el error porcentual, tomando como referencia el valor teórico de la resistividad del alambre.

TABLA 11.

Material	%error
Cobre	
Aluminio	
Latón	
Nicrom	
Acero Inoxidable	

Fuente: Autores.

E. Conclusiones de la experiencia

I. Introducción

En 1827, Georg Simon Ohm, descubrió por una serie de experimentos que la diferencia de potencial aplicada en los extremos de un cable conductor es directamente proporcional a la corriente I que circula por el cable. La proporcionalidad entre la diferencia de potencial y la corriente eléctrica observada en algunos tipos materiales recibió el nombre de ley de Ohm y los elementos que presentan estas propiedades son llamados óhmicos.

En general, la validez de esta ley depende fuertemente del material. A su vez estos elementos dentro del circuito pueden combinarse de distintas formas, generando otras relaciones que también pueden ser óhmicas o no dependiendo de los materiales utilizados. A lo largo de esta práctica trataremos de explorar la relación entre el voltaje y la corriente eléctrica para distintos elementos óhmicos.

II. Ley de Ohm

Esta ley constituye una relación de proporcionalidad entre Voltaje (V) aplicado a un conductor y la corriente (I) que circula a través de él.

$$V = IR \quad (6.1)$$

La corriente eléctrica es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia, es decir, cuando el voltaje aumenta también lo hace la corriente. Dado que la corriente es inversamente proporcional a la resistencia, el cociente de V/I es una medida del impedimento impuesto por el material al flujo de la corriente eléctrica [1, p. 596].

Analizando la ecuación (6.1), observamos que la relación entre I y V es lineal y está especificada por una constante conocida como Resistencia (R). Un conductor que cumpla esta relación es llamado óhmico. Existen conductores que no cumplen con esta relación a causa de cambios en la resistencia por efectos asociados a la circulación de la corriente eléctrica y son llamados no óhmicos como se ilustra en la Fig. 29.

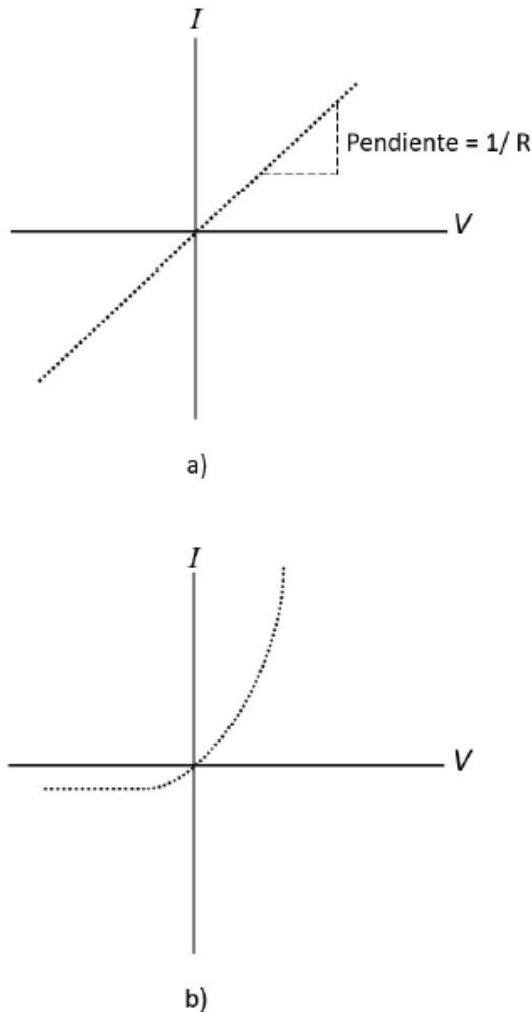


Fig. 29. Gráficos de I vs V para: a) materiales óhmicos
b) no óhmicos.

Fuente: Elaboración propia.

Consideremos el sistema mostrado en la **Fig. 30** en que se suministra una serie de diferentes voltajes a un alambre (0.32 mm de diámetro y 11 cm de longitud) y se registran los datos experimentales en la **Tabla 12**.

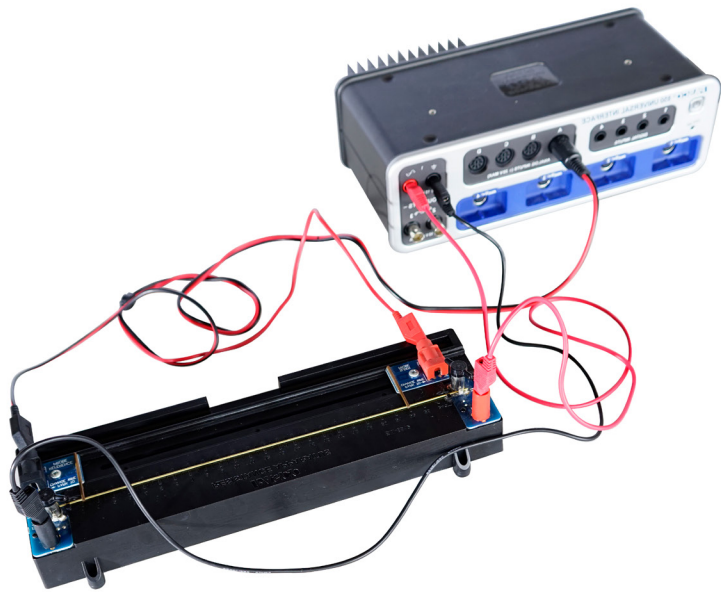


Fig. 30. *Montaje experimental experiencia de Ley de Ohm.*
Fuente: Elaboración propia.

TABLA 12.
DATOS DE VOLTAJE VS CORRIENTE.

V (V)	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
I (mA)	72	144	216	288	360

Fuente: Elaboración propia.

La **Fig. 31** modela el comportamiento de la ecuación (6.1), la cual describe una función lineal con pendiente positiva debido a que la resistencia permaneció constante.

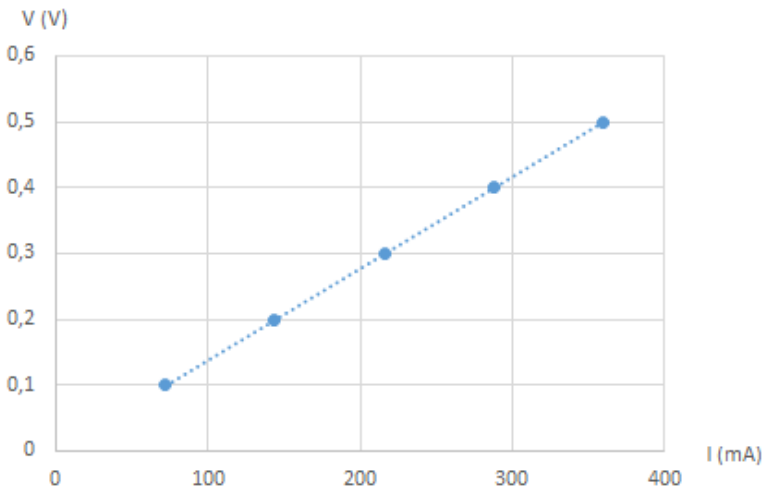


Fig. 31. *Relación entre Voltaje y Corriente.*
Fuente: Elaboración propia.

La pendiente de la gráfica representa la resistencia del material, $R = 0.0014 \text{ m}\Omega$ lo que equivale a $1.4 \text{ }\Omega$. Podemos concluir que el material se comporta como un material óhmico.

III. Ejercicios propuestos

Considere el sistema mostrado en la Fig. 32 un estudiante de ingeniería realizó toma de datos de voltaje y corriente. Los datos tomados son mostrados en la Tabla 13.

TABLA 13.
DATOS VOLTAJE VS LONGITUD.

V (V)	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
I (mA)	72	144	216	288	360

Fuente: Elaboración propia.

- A. Realice la gráfica de Corriente vs Voltaje.
- B. Con respecto a la gráfica anterior, ¿se puede concluir que el material es un elemento óhmico? Si es así, determine la resistencia R del material.

Universidad de la Costa	<table><tr><th colspan="3">Fecha</th></tr><tr><td>DÍA</td><td>MES</td><td>AÑO</td></tr></table>			Fecha			DÍA	MES	AÑO
Fecha									
DÍA	MES	AÑO							
Departamento de Ciencias Naturales y Exactas									
Experiencia No. 6									
Ley de Ohm	<table><tr><th>Grupo</th></tr><tr><td> </td></tr></table>			Grupo					
Grupo									
Laboratorio de Física de Campos									
Nombres									

Experiencia 6:
Ley de Ohm

A. Objetivos

Comprobar la ley de Ohm para un alambre conductor.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Interfaz universal PASCO 850 (1) o aparato de resistencia (1) o sensor de voltajes (1) o varillas metálicas (1) o vernier (1).

C. Actividades de la experiencia

1. Tome una de las varillas y colócala ajustada en el aparato de resistividad como se muestra en la **Fig. 30**.
2. Coloque la sonda de referencia en la marca 0 cm y la sonda deslizante en la marca de 24 cm en el aparato de resistividad.
3. Haga clic en “Generador de señales” a la izquierda de la pantalla. Verifique que el voltaje de CC esté configurado a 0.10 V y el límite de voltaje y corriente este conFigurado a 5 V y 0.55 A, respectivamente; luego haga clic en el botón de Encendido, para establecer conexión en el circuito.
4. Haga clic en el botón VISTA PREVIA en la esquina inferior izquierda. Espere unos segundos hasta que la medida se estabilice, luego haga clic en el botón MANTENER MUESTRA.
5. Configure el generador de señales para aumentar el voltaje de CC un valor de 0.05V, esperar que la medida se estabilice y luego dar clic en el botón MANTENER MUESTRA.

6. Repetir el paso 3.3 para pasos de voltajes de 0.05V, hasta llegar un máximo de 4,5V. Se tomará un total de 8 datos.
7. Observe el comportamiento de la gráfica V vs I y realice el ajuste.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. ¿Qué relación de proporcionalidad existe entre el voltaje y la corriente eléctrica?

2. Al determinar la pendiente de la gráfica de V vs I ¿Qué significado tiene la pendiente de la recta obtenida? ¿Cuáles son las unidades?

3. ¿Cuál es el valor de la resistencia R obtenida? ¿Cuál es el error de la medida de esa resistencia?

TABLA 14.

Resistencia	%error

E. Conclusiones de la experiencia

Cap. 7 Carga y descarga de un capacitor

I. Introducción

Se conoce como circuito eléctrico al trayecto conductor por donde circula la corriente eléctrica, este trayecto conductor puede tener elementos básicos de un circuito como: la fuente de voltaje, resistencias, capacitores, diodos entre otros.

Un elemento importante en un circuito es el capacitor o condensador, este elemento es capaz de guardar energía eléctrica (cargas). En general, un capacitor está constituido por dos laminas conductoras aisladas por un material dieléctrico. Al unir las láminas conductoras a una fuente de voltaje, causa que las láminas se polaricen y permitan la acumulación de cargas eléctricas de signos contrarios en cada placa [1, p. 629].

Los capacitores poseen un límite de almacenamiento para la carga eléctrica, pero ellos pueden transmitir corriente continua en un instante de tiempo y con circuitos de corriente alterna funcionan como un elemento conductor. Esta característica los convierte en instrumentos muy valiosos a la hora que se quiere impedir la circulación de corrientes alternas en una determinada región de un circuito electrónico.

II. Carga y descarga de un capacitor

El capacitor o condensador es un dispositivo constituido por dos laminas conductoras (metálicas) alejadas por un aislante (dieléctrico). Un dieléctrico es un material que impide la circulación de la corriente directa entre las placas (corto circuito). Los capacitores se utilizan normalmente para acumular energía eléctrica o para crear campos eléctricos de distintas formas geométricas. Matemáticamente la capacitancia queda expresada como (7.1):

$$C = \frac{q}{v} \quad (7.1)$$

La Fig. 32 muestra el esquema de un circuito RC, donde se puede estudiar la evolución de la carga y descarga de un condensador.

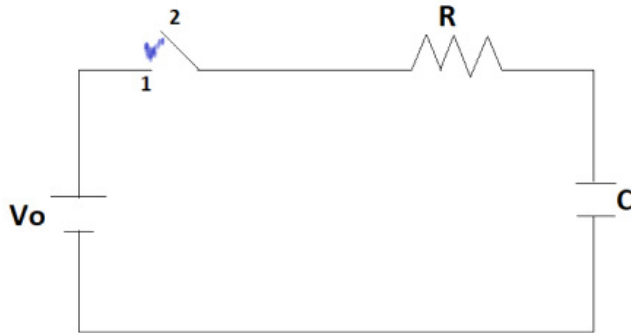


Fig. 32. Diagrama esquemático de un circuito RC.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Fig. 32, la distribución de voltaje en el circuito es (7.2):

$$V_o = V_C + V_R \quad (7.2)$$

Donde V_o , V_C y V_R corresponden al voltaje aplicado (Fuente de voltaje), la diferencia de potencial sobre el capacitor y la resistencia, respectivamente.

Teniendo en cuenta la Ley de Ohm (7.3):

$$V_R = IR \quad (7.3)$$

Y, además como (7.4):

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (7.4)$$

A partir de las ecuaciones (7.1), (7.3) y (7.4), es posible reescribir la ecuación (7.2) de la siguiente forma (7.5):

$$V_o = \frac{Q}{C} + \frac{dQ}{dt} R \quad (7.5)$$

Tomando como condición inicial que el capacitor se encuentra totalmente descargado, es decir, que en $t = 0$, la carga en el capacitor es cero, $Q = 0$. La solución de esta ecuación diferencial de Q es (7.6):

$$Q(t) = V_o \cdot C(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \quad (7.6)$$

Esta ecuación (7.6) permite determinar el valor de la carga en el capacitor como función del tiempo, para el proceso de carga.

Si dividimos ambos miembros de la ecuación (7.6) por V_o , es posible derivar una expresión que permita determinar el valor del voltaje en el capacitor como función del tiempo (7.7):

$$V(t) = V_o(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \quad (7.7)$$

En donde el producto RC , es llamado constate de tiempo, y se representa con el símbolo τ . Realizando todo el proceso anterior para la etapa de descarga del capacitor las ecuaciones (7.6) y (7.7) quedarían de la siguiente forma (7.8) (7.9):

$$Q(t) = V_o \cdot C \left(\frac{-t}{eRC} \right) \quad (7.8)$$

$$V(t) = V_o \left(\frac{-t}{eRC} \right) \quad (7.9)$$

La siguiente **Tabla 15** muestra algunos valores de voltaje sobre un capacitor en función del tiempo, obtenidos a partir de un circuito RC formado por una resistencia de $22 \text{ k}\Omega$, un capacitor electrolítico de $1000\mu\text{F}$ y una fuente de voltaje de $4,1 \text{ V}$.

Teóricos $R = 22\text{ k}\Omega$ $C = 1000\mu\text{F}$

TABLA 15.
DATOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES PARA EL CIRCUITO RC.

Vo(V)	t(s)	Vt(V)	V0 – V(t)	ln(V0 – V(t))	τ_{teo}	τ_{exp}	%error
4.1	0	0					
	10	2.1					
	20	3.13					
	30	3.59					
	40	3.82					
	50	3.92					
	60	3.98					
	70	4.03					
	80	4.06					
	90	4.07					

Fuente: Autores.

Realizando la operación que se indica en el encabezado de cada columna, se pueden completar los datos faltantes de la columna 4 y 5.

Para el caso de la columna 4 seria:

- $4.1 - 0 = 4.1$
- $4.1 - 2.1 = 2$
- $4.1 - 3.13 = 0.97$
- $4.1 - 3.59 = 0.51$
- $4.1 - 3.82 = 0.28$
- $4.1 - 3.92 = 0.18$
- $4.1 - 3.98 = 0.12$
- $4.1 - 4.03 = 0.07$
- $4.1 - 4.06 = 0.04$
- $4.1 - 4.07 = 0.03$

De igual manera realizamos lo mismo para la columna 5.

- $\ln(4,1) = 1.410986974$
- $\ln(2) = 0.693147181$
- $\ln(0,97) = -0.030459207$
- $\ln(0,51) = -0.673344553$
- $\ln(0,28) = -1.272965676$
- $\ln(0,18) = -1.714798428$
- $\ln(0,12) = -2.120263536$
- $\ln(0,07) = -2.659260037$
- $\ln(0,04) = -3.218875825$
- $\ln(0,03) = -3.506557897$

Para la columna 6, hallamos la constate de tiempo (representa con el símbolo τ) de manera teórica realizando el producto de RC.

$$\tau = 22000\Omega \cdot 1000\mu F = 22s$$

Para encontrar la contante de tiempo de manera experimental, procedemos a graficar los valores de la columna 5 con la columna 2 (Fig. 33). El valor absoluto del inverso de la pendiente de la recta $\ln(V_0 - V_{(t)})$ Vs $t_{(s)}$ representa la constante de tiempo de manera experimental.

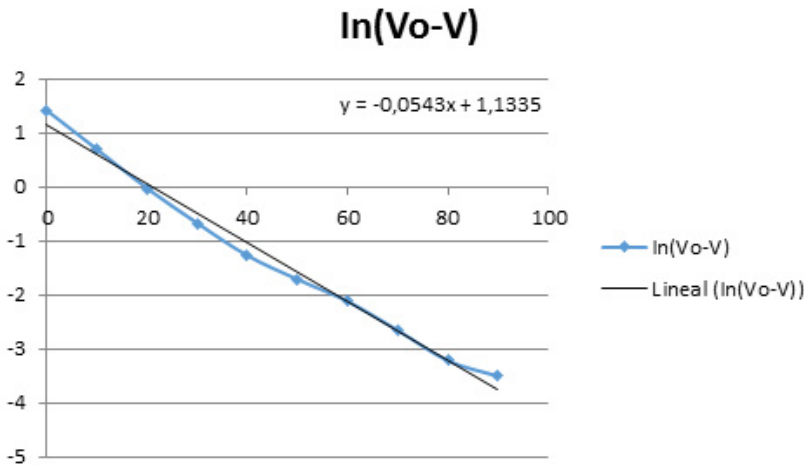


Fig. 33. Gráfica de \ln vs V .
Fuente: Elaboración propia.

El valor absoluto del inverso de la pendiente sería (7.10):

$$\tau_{exp} = \left| \frac{1}{-0,0543} \right| = 18,41 \text{ s} \quad (7.10)$$

El error relativo sería (7.11):

$$\begin{aligned} \%Error &= \left| \frac{\text{Valorteorico} - \text{valor experimental}}{\text{valorteorico}} \right| \cdot 100\% = \\ &= \left| \frac{22 \text{ s} - 18,41 \text{ s}}{22 \text{ s}} \right| \cdot 100\% = 16,3\% \quad (7.11) \end{aligned}$$

III. Ejercicio propuesto

Un estudiante de ingeniería realiza el montaje de un circuito RC en el laboratorio, donde pretende encontrar la constante de tiempo de manera experimental para este circuito. Los materiales que utilizó fueron: 1 resistencia de 10 kΩ, 1 capacitor de 1000 μF y una fuente de 10 V. El estudiante logra registrar los siguientes valores de voltaje para el momento en que se carga el capacitor (Tabla 16).

TABLA 16.

VOLTAJE SOBRE EL CAPACITOR EN UN INTERVALO DE TIEMPO.

V_t (V)	0	0.03	0.207	0.374	0.535	0.692	0.8	0.983	0.500
t(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Fuente: Elaboración propia.

Determinar el error relativo entre τ_{exp} y τ_{teo} .

Universidad de la Costa	Fecha		
Departamento de Ciencias Naturales y Exactas	DÍA	MES	AÑO
Experiencia No. 7			
Carga y descarga de un capacitor	Grupo		
Laboratorio de Física de Campos			
Nombres			

Experiencia 7:
Carga y Descarga de un Capacitor

A. Objetivos

Analizar de forma experimental el comportamiento de un circuito RC, a través del cambio temporal del voltaje.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Interface Universal 850 (1), Laboratorio Electrónico AC/DC EM-8656(1), Sensor de Voltaje (1), Resistor (10 kΩ, 30 kΩ, 50 kΩ)(1), Capacitor electrolítico de 1000μF(1), Voltaje aplicado por la fuente Vo = 10V.

C. Actividades de la experiencia

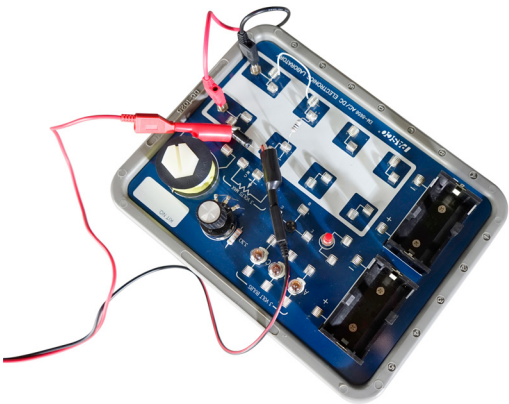


Fig. 34. *Montaje para carga y descarga de un capacitor*
Fuente: Elaboración propia.

1. Realice la configuración del circuito como se representa en la **Fig. 34**.
2. Haga clic en Generador de señales a la izquierda de la pantalla. Verifique que el voltaje de CC esté configurado a 10 V y haga clic en Encendido.
3. Haga clic en el botón GRABAR en la esquina inferior izquierda. Espere unos segundos hasta que el voltaje se aproxime a 10V (alrededor del 95% del voltaje aplicado), donde se muestra que está cargado el capacitor, luego haga clic en el botón DETENER, que aparece en el mismo lugar de GRABAR.
4. Exporte los datos en extensión TXT y ábralos en una hoja de cálculo de Excel.
5. Para descargar el capacitor haga clic en generador de señales y haga clic en apagado.
6. Haga clic en el botón GRABAR y espere unos segundos hasta que se descargue el capacitor.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. Realice los cálculos solicitados en la tabla, (columnas 4, 5, 6, ...) teniendo en cuenta que V_0 es el voltaje aplicado (5V).

Teóricos $R =$ _____ $C =$ _____

Tabla 17.

$V_0(V)$	$t(s)$	$V_t(V)$	$V_0 - V(t)$	$\ln(V_0 - V(t))$	τ_{teo}	τ_{exp}	%error

Fuente: Autores.

2. Grafique $\ln(V_0 - V_{(t)})$ Vs t .

3. Determine la pendiente de la gráfica, el inverso de la pendiente en valor absoluto, representa el valor de la constante de tiempo τ exp del circuito RC (columna 8).

4. Determine el error relativo porcentual entre los valores de contante de tiempo teórico y experimental.

5. ¿Cuánta fue la carga máxima obtenida por el capacitor en el proceso de carga?

6. ¿En qué forma varía la carga Q del capacitor a medida que este se carga y se descarga? Muéstrela también gráficamente.

7. Haga clic en el botón GRABAR y espere unos segundos hasta que se descargue el capacitor.

8. Muestre gráficamente como varía la corriente en el proceso de descarga para este capacitor.

E. Conclusiones de la experiencia

I. Introducción

Hace más de 2000 años los griegos se percataron que existía un mineral capaz de atraerse entre sí y de atraer ciertos metales como el hierro y que, también, tendían a orientarse hacia el norte y sur geográfica de la tierra. Por otra parte, durante algún tiempo se creyó que había alguna dependencia entre la electricidad y electromagnetismo, pero fue hasta comienzos del siglo XIX que se pudo comprobar científicamente. Diferentes científicos de muchas regiones indagaron los fenómenos electromagnéticos, realizando pequeños aportes que luego fueron aprovechados para enunciar las leyes y teorías que hoy en día conocemos.

El físico y químico Christian Oersted fue un gran estudioso de los fenómenos magnéticos y en 1813 pronosticó la presencia de fenómenos electromagnéticos, que años después fueron demostrados por los estudios realizados por Faraday y Ampere. El estudio y formulación del electromagnetismo ha logrado que el ser humano pudiera construir diferentes mecanismos y sistemas como: generadores de corriente eléctrica, electroimanes, transformadores, motores y un número grande de sistemas e instrumentos de uso cotidiano.

II. Campo Magnético de Bobinas

Es aquella región del espacio perturbada por la presencia de un cuerpo con propiedades magnéticas, dicho cuerpo puede ser un imán, un electroimán o material ferromagnético magnetizado. El campo magnético es una magnitud vectorial y físicamente hablando se origina debido al movimiento de cargas eléctricas. El campo magnético no se trata de una fuerza en sí sino de un espacio en el que actúan fuerzas sobre partículas cargadas en movimiento (**Fig. 35**).

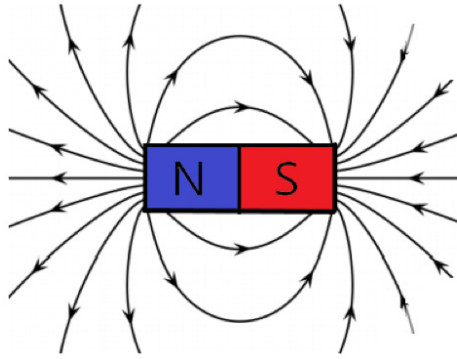


Fig. 35. Representación de las líneas de campo magnético.
Fuente: Elaboración propia.

Ley de Ampère

Esta ley sirve para determinar de manera más sencilla el campo magnético producido por una corriente eléctrica. Esta ley plantea una función en términos de una integral de línea sobre un camino cerrado, sin tener en cuenta el flujo magnético (8.1) [4, p. 969]:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \quad (8.1)$$

Consideremos un conductor largo y recto por el que circula una corriente eléctrica, su campo magnético queda expresado por (8.2):

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \quad (8.2)$$

Reemplazando la ley de Ampère nos queda (8.3)(8.4):

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B_{||} dl = B \oint dl = \frac{\mu_o I}{2\pi r} (2\pi r) = \mu_o I \quad (8.3)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o I_{enc} \quad (8.4)$$

Siempre la integral de línea $\vec{B} \cdot d\vec{l}$ sobre cualquier camino cerrado es $\mu_0 I_{\text{enc}}$. Donde μ_0 es una constante (permeabilidad magnética) y I_{enc} es la corriente total que circula a través de la trayectoria limitada (Fig. 36) [4, p. 969].

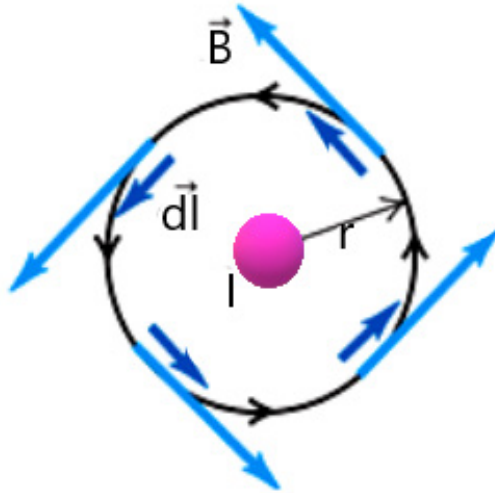


Fig. 36. Representación del campo magnético generado por una corriente.

Fuente: Elaboración propia.

Al estudiar la ecuación (8.4), observamos que el resultado de la integral es independiente de la orientación del conductor y de la trayectoria de la superficie cerrada. El resultado de la integral será negativo si la corriente eléctrica se mueve en sentido horario, positivo si se mueve en sentido anti-horario y cero si la trayectoria no encierra ninguna corriente eléctrica [4, p. 969].

Solenoides

Es cualquier alambre conductor enroscado en forma de hélice circular. Debido su forma, es capaz de producir un campo magnético altamente uniforme en la región central de la espira (Fig. 38).



Fig. 37. Bobina Helmholtz típica utilizada en los laboratorios de física para generar un campo magnético casi constante en el interior.

Fuente: Elaboración propia.

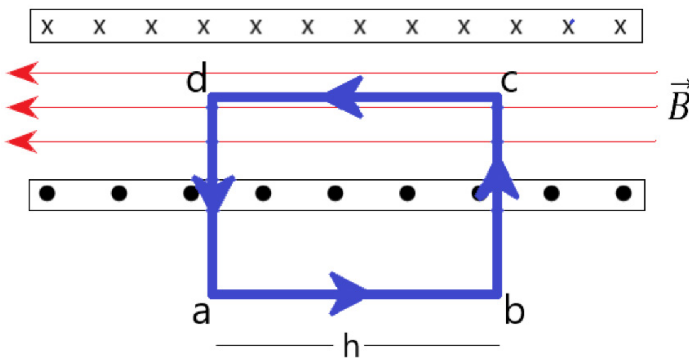


Fig. 38. Campo magnético para una bobina de Helmholtz.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ley de Ampère:

$$\int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_c^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0 \tag{8.5}$$

$$\int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bh = \mu_o NI_{enc} \tag{8.6}$$

$$B = \frac{N}{h} \mu_o I_{enc} = \mu_o n I_{enc} \tag{8.7}$$

$$n = \frac{N}{h} \tag{8.8}$$

N: Número de vueltos en la bobina.

n: Número de vueltas por unidad de longitud.

Así que el campo magnético al interior de un solenoide queda expresado como (8.9):

$$B = \mu_o n I_{enc} \tag{8.9}$$

La **Tabla 18** muestra la variación de campo magnético que se produce al interior de una bobina, de 11 cm de longitud y 2920 vueltas, cuando se cambian de la corriente eléctrica que circula a través de ella.

TABLA 18.
 VALORES DE CAMPO MAGNÉTICO AL INTERIOR DE
 UNA BOBINA EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE.

Corriente eléctrica (A)	Campo Magnético (T)
0,005	5,65E-05
0,009	1,84E-04
0,012	3,12E-04
0,016	4,49E-04
0,024	7,05E-04
0,028	8,39E-04
0,032	9,48E-04

Fuente: Autores.

Si queremos hallar de manera experimental el valor de μ_0 (permeabilidad magnética), procedemos a realizar la gráfica (linealizar) de los datos de la **Tabla 16**.

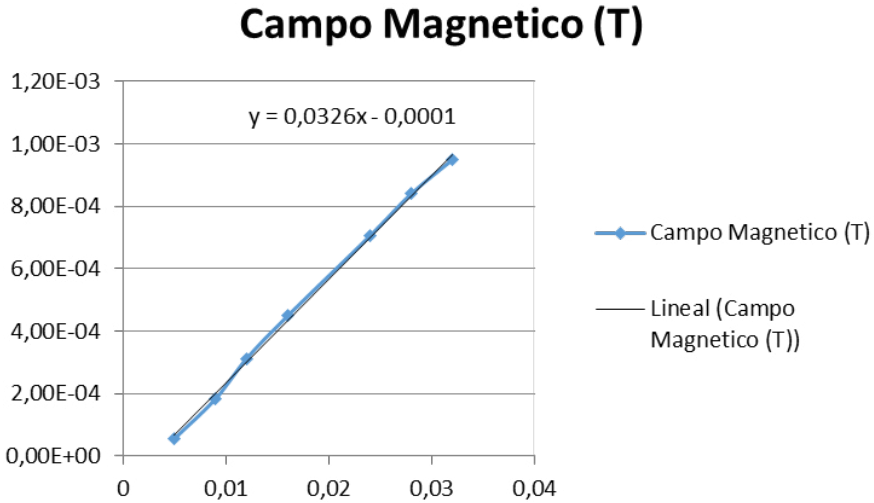


Fig. 39. *Campo magnético al interior de la bobina en función de la corriente.*

Fuente: Elaboración propia.

Al linealizar los datos, obtenemos la siguiente ecuación de la recta (8.10):

$$y = 0,0326x - 0,0001 \quad (8.10)$$

Al comparar la ecuación (8.9) y (8.10) podemos concluir que (8.11):

$$m = \frac{\mu_0 \cdot N}{l} \quad (8.11)$$

Despejando μ_0 de la ecuación (8.11) y reemplazando valores numéricos obtenemos:

$$\mu_o = \frac{m \cdot h}{N} = \frac{0,0326T/A \cdot 0,11m}{2920} = 12,28 \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A} \qquad (8.12)$$

Al comparar con el valor teórico de μ_o (teórico)= $12,56 \cdot 10^{-7} \text{tm/A}$ con el valor experimental, podemos calcular el error relativo:

$$\%Error = \left| \frac{Valorteorico - valorexperimental}{valorteorico} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{12,28 - 12,56}{12,56} \right| \cdot 100\% = 2,23\%$$

III. Ejercicio propuesto

Un estudiante de ingeniería quiere determinar de manera experimental el número de vueltas que tiene una bobina de 20 cm de longitud, por lo cual registra los siguientes valores de campo magnético (al interior de la bobina) en función de la corriente eléctrica. Los datos están registrados en la siguiente **Tabla 19**.

TABLA 19.
VALORES DE CAMPO MAGNÉTICO AL INTERIOR DE LA BOBINA.

B(T)	2.56E-5	6.86E-5	1.09E-4	1.93E-4	2.82E-4	4.86E-4	7.4E-4	9.3E-4	0.500
I(A)	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	8

Fuente: Autores.

Universidad de la Costa
Departamento de Ciencias Naturales y Exactas
Experiencia No. 8
Campo magnético de bobinas
Laboratorio de Física de Campos

Fecha		
DÍA	MES	AÑO

Grupo

Nombres

Experiencia 8: Campos Magnéticos

A. Objetivos

Analizar los campos magnéticos para una bobina y un solenoide, a partir de la relación existente entre la posición y la corriente eléctrica.

B. Equipo y/o elementos a utilizar

Base bobina de Helmholtz (1), bobina de 500 vueltas (1), selenoide (1), sensor de campo magnético (1), cables de conexión (1), Interfax Universal 850 Pasco (1), soportes (2), base de 60cm (1).

C. Actividades de la experiencia

Procedimiento 1: Campo magnético de una bobina

1. Conecte la bobina, el sensor de campo y la interfaz universal, como se muestra en la **Fig. 40**.

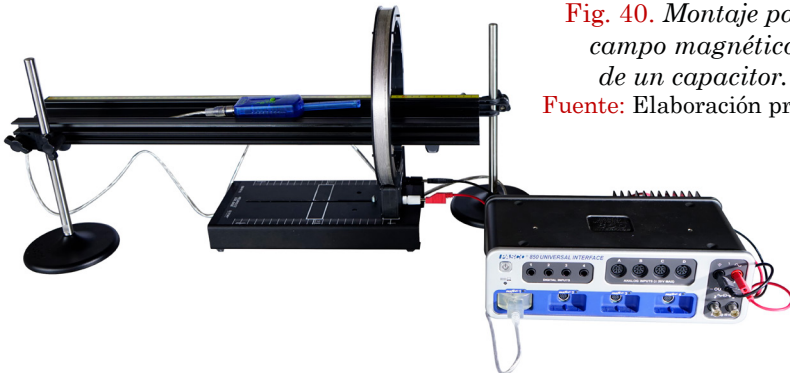


Fig. 40. Montaje para campo magnético de un capacitor.
Fuente: Elaboración propia.

2. Deslice el medidor de campo magnético a lo largo de la pista hasta que el sensor de la sonda esté en el centro de la bobina. Presione el botón de "TARE" en el sensor de campo magnético
3. Haga clic en Generador de señales a la izquierda de la pantalla. Verifique que el voltaje de CC esté configurado a 6,2 V y haga clic en Encendido.
4. Seleccione el botón VISTA PREVIA en el lado inferior izquierda. Espere unos segundos hasta que la medida se estabilice, luego seleccione el botón MANTENER MUESTRA.
5. Repita el paso 4 deslizando el sensor de 3 cm en 3cm hasta llegar a 44 cm en la pista, en total tomará 8 datos.
6. Ajuste de curva y seleccione Definido por el usuario. Haga clic en el cuadro Definido por el usuario que aparece en el gráfico.

Procedimiento 2:

Campo magnético para un solenoide

1. Configure como se muestra en la Fig. 41. Tenga en cuenta que la sonda del sensor magnético para por la mitad de la bobina cuando está completamente insertada.

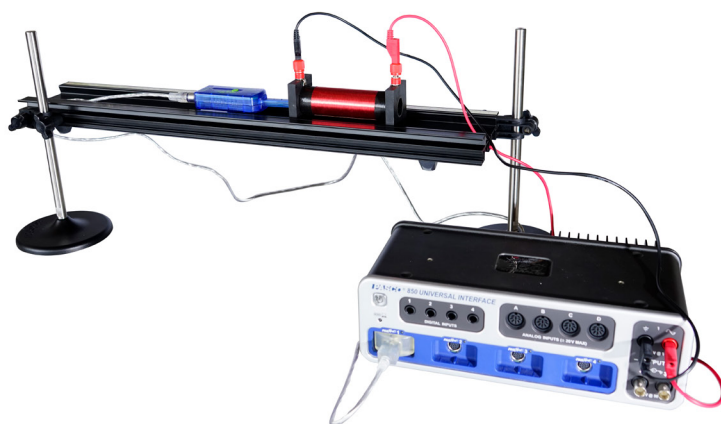


Fig. 41. *Montaje del campo magnético de un solenoide.*

Fuente: Elaboración propia.

2. Presione la opción "TARE" en el medidor de campo magnético.

3. Haga clic en Generador de señales a la izquierda de la pantalla. Verifique que el voltaje de CC esté conFigurado a 0.3 V y haga clic en Encendido.
4. Seleccione el botón VISTA PREVIA en el lado inferior izquierdo. Espere unos segundos hasta que la medida se estabilice, luego seleccione el botón MANTENER MUESTRA.
5. Configure el generador de señales para aumentar el voltaje en pasos de 0.3 Voltios a partir de 0.3, aumente el voltaje hasta un máximo de 2.4 voltios.

D. Cálculo y análisis de preguntas

1. Discuta cualquier diferencia entre la curva axial experimental y el ajuste teórico (ajuste del usuario).

2. Calcule μ_0 experimental, utilizando el valor del campo magnético en $x = 0$. Tenga en cuenta los datos de la **Tabla 20** y la ecuación (8.13).

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (8.13)$$

TABLA 20.

Radio de la bobina	Número de vueltas
10.06 cm	500

3. Determine el error porcentual tomando como referencia el valor de: $\mu_0 = 1.257 \times 10^{-6} \text{ Tm/A}$

4. El campo perpendicular para la bobina debe ser cero en todas partes del eje. Si no lo es, ¿por qué no?

5. ¿Qué relación hay entre la magnitud del campo magnético del solenoide y la intensidad de corriente? Haga el ajuste correspondiente e interprete cada uno de los elementos en la ecuación.

6. Con la ecuación de ajuste obtenida en la pregunta 5, determine el número de vueltas del solenoide. Calcule el porcentaje de error. Tenga en cuenta los datos de la **Tabla 21** y la ecuación 8.14.

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

(8.14)

TABLA 21.

Radio de la bobina	Número de vueltas
10.06 cm	500

E. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] R. A. Serway y C. Vuille, *Fundamentos de Física*, 9 ed. Vol 2, México, D.F.: Cengage, 2013.
- [2] J. Wilson, A. Buffa y B. Lou, *Física*. 6 ed. México, D.F.: Pearson Educación, 2007.
- [3] Basic Electrostatics System Model ES-9080A, Instruction Manual 012-07227G, Pasco, Roseville, USA. Available: <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/electricity-and-magnetism/electrostatics-and-electric-fields/es-9080#documents-panel>
- [4] Y. Young & R. Freedman. *Sears - Zemansky. Física universitaria con física moderna*, vol. 2. 12 ed. México, D.F.: Pearson Educación, 2009.

Conclusiones

El principal propósito de la presente obra se realizó basado en el diseño del modelo experimental en la enseñanza y aprendizaje de la Física de campos, estableciendo a través de la experiencia un modelo didáctico empleándose estrategias pedagógicas apoyadas en la experimentación y la tecnología, lo que facilita el entendimiento de las leyes de la física de campos en la vida cotidiana. Las contribuciones de los autores de este proyecto se ven reflejadas a través de todos los capítulos de este libro, en el texto resaltamos algunos aspectos importantes, como, por ejemplo:

1. Se presentan en todos los capítulos una sección de conceptos previos estrechamente relacionados con cada una de las experiencias, de tal forma que los estudiantes estén muy bien orientados para cada una de sus prácticas.
2. En todos los capítulos de este libro se presentan ejemplos con datos originales obtenidos en el laboratorio por medio de montajes experimentales diseñados por los autores.
3. En cada una de las prácticas de laboratorio sugeridas en este libro se indica al lector las configuraciones del software, los parámetros y valores experimentales que se deben tener en cuenta para una realización exitosa de la práctica.

El proceso de experimentación en física implica el uso tanto del método cuantitativo, como del cualitativo. En este sentido, por medio de estos métodos se demostraron los principios y fenómenos físicos usando la técnica experimental, se concluye que la aplicación de los conceptos de la física mecánica en el laboratorio genera en el estudiante una perspectiva diferente para una comprensión más sólida y amplia de los fundamentos que conforman esta disciplina.

Recomendaciones

El libro de Guía de Laboratorios de Física de Campos es un texto que está diseñado a partir plan de asignaturas, por lo que, se le recomienda al estudiantado tomar una breve lectura antes de cada una de las experiencias de laboratorio y desarrollar cada uno de los ejercicios propuestos.

El docente por su parte debe realizar una prueba de la práctica antes de la clase programada para no tener inconveniente con los equipos.

ANDRÉS ALFREDO MEDINA GUZMÁN.

Físico de la universidad del Atlántico (Colombia). En la actualidad vinculado al departamento de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de la Costa CUC (Colombia) como profesor tiempo completo, en donde ha participado en el diseño, construcción y revisión de guías de laboratorio para las asignaturas de física mecánica, física de campos y física de calor y ondas.

MARGARITA YELENE GUERRERO PEÑA.

Física de la Universidad del Atlántico (Colombia) y Magister en física Aplicada de la Universidad del Norte (Colombia). Actualmente se desempeña como docente tiempo completo en el área de Física en la Universidad de la Costa CUC (Colombia). En la actualidad vinculada al departamento de Ciencias Naturales y Exactas.

ADRIANA HERAZO PÉREZ.

Físico de la Universidad del Atlántico (Colombia). Actualmente candidata a Magister en Ciencias Físicas y vinculado al departamento de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de la Costa CUC (Colombia) como profesor tiempo completo de laboratorio, en donde brinda asesoría a estudiantes y docentes en las diferentes prácticas que se realizan en los laboratorios de física.

ELICEO CORTES GOMEZ.

Físico y Magister en Física. Docente e investigador de la Universidad de la Costa CUC (Colombia) en la línea de modelamiento computacional. Autor de varias publicaciones en física de la materia condensada y óptica cuántica.

CRISTIAN SOLANO MAZO.

Físico y Magister en Física Aplicada. Docente e investigador en la línea de síntesis y caracterización de materiales. Autor de varias publicaciones en síntesis y análisis de propiedades físicas de compuestos intermetálicos y películas delgadas semiconductoras.